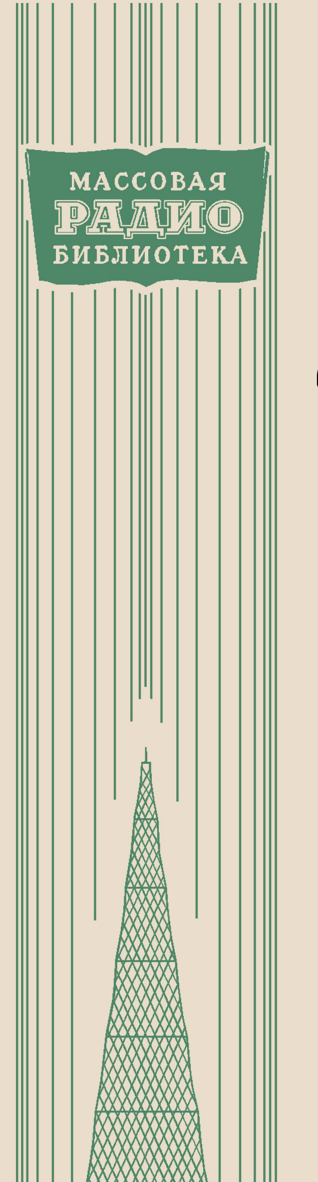
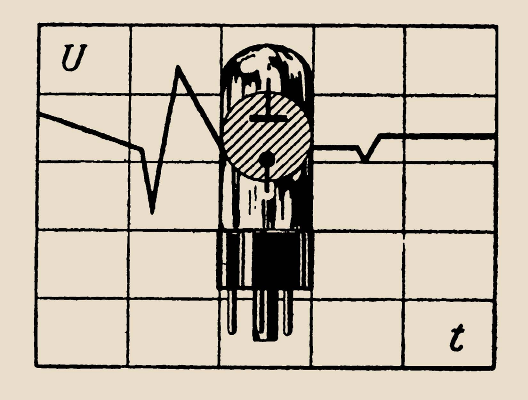


М. М. ЭФРУССИ

СТАБИЛИТРОНЫ И НЕОНОВЫЕ ЛАМПЫ





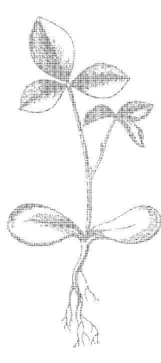
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1954

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 289

М. М. ЭФРУССИ

СТАБИЛИТРОНЫ И НЕОНОВЫЕ ЛАМПЫ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

В брошюре описывается принцип действия, устройство и особенности газоразрядных стабилизаторов напряжения (стабилитронов) и сигнальных неоновых ламп. Приводится методика несложного расчета режима работы и основных данных стабилизующих схем. Дается описание наиболее употребительных устройств, использующих стабилитрон или неоновую лампу.

Брошюра рассчитана на подготовленного радиолюбителя.

Эфрусси Михаил Михайлович

Стабилитроны и неоновые лампы

Редактор *А. А. Журавлев* Техн. ред. *Л. Я. Медведев*

Сдано в набор 24/X 1957 г. Подписано к печати 28/I-1958 г.
Бумага $82 \times 108^1/_{32}$. Объем 3,28 печ. л. Уч.-изд. л. 3,6
Т-00747. Тираж 40 000 экз. Цена 1 р. 45 к. Зак. 523.

Типография Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.

ТЛЕЮЩИЙ И КОРОННЫЙ РАЗРЯДЫ В ГАЗЕ

Газ является хорошим изолятором. Однако если стеклянный баллон, содержащий два электрода и заполненный разреженным (несколько миллиметров ртутного столба) газом, соединить электродами с источником постоянного напряжения (20—40 *в*), то под действием какого-нибудь внешнего источника ионизации, например рентгеновского или радиоактивного облучения, между электродами потечет электрический ток весьма малой величины. Этот ток обусловливается появлением в газе (вследствие внешней ионизации) отрицательных (электронов) и положительных (ионов) зарядов, которые, двигаясь (первые к аноду, а вторые к катоду), создают электрический ток. В этом состоит основное отличие газовой лампы от вакуумной, у которой электрический ток создается движением только электронов.

Если приложенное к электродам напряжение создает достаточную скорость движения электронов к аноду, то на своем пути, сталкиваясь с частицами газа и выбивая из атомов газа новые электроны, они произведут дополнительную ионизацию и тем резко увеличат ток через лампу. Эта дополнительная ионизация носит лавинообразный характер, так как в ней участвуют не только первичные электроны, порожденные внешним источником ионизации, но и в тысячи раз большее количество вторичных электронов, созданных дополнительной ионизацией, ибо ионизация может производиться всеми движущимися к аноду электронами, как первичными, так и вторичными.

Такой лавинообразный разряд, возникающий от действия внешнего ионизатора и прекращающийся с окончанием его действия, называется несамостоятельным разрядом. Он имеет место, например, в газонаполненных фотоэлементах.

Дальнейшим увеличением приложенного к электродам напряжения можно несамостоятельный разряд в лампе сде-

лать самостоятельным, т. е. не требующим внешнего специального ионизатора. Для этого приложенное напряжение должно сообщать электронам и ионам, почти всегда имеющимся в газе (в результате радиоактивного излучения земли и действия космических лучей), достаточную энергию для того, чтобы они могли ионизировать газ и создать описанный выше лавинообразный процесс. Дополнительным источником ионизации могут являться электроны, выбиваемые из катода падающими на него ионами.

Начавшийся самостоятельный разряд должен быть ограничен сопротивлением, включенным последовательно с лам-

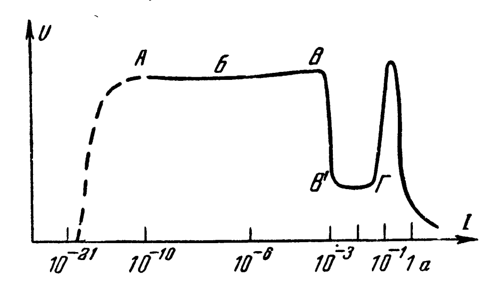


Рис. 1. Схематическая вольт-амперная характеристика разряда в газах.

пой, которое с увеличением тока уменьшает напряжение на электродах за счет увеличивающегося на нем падения напряжения. При отсутствии сопротивления ток через лампу может достигнуть очень большой величины, между электродами возникнет искровой или дуговой разряд, и лампа будет пробита.

Возможность использования электрического разряда в газах для стабилизации напряжения определяется вольт-амперной характеристикой, т. е. кривой зависимости между напряжением на электродах и током через газовый промежуток.

На рис. 1 приведена схематическая вольт-амперная характеристика разряда в газах для электродов, имеющих форму коаксиальных цилиндров (один внутри другого). Из этой схематической характеристики хорошо видно, что стабилизация напряжения может осуществляться в области горизонтальных участков характеристики (там, где сохраняется постоянство напряжения на электродах при разных токах через газовый промежуток). Таких участков на характеристике рис. 1 имеется три: *АБ* — соответствующий

предкоронному разряду, происходящему при весьма малых токах, *БВ* — соответствующий коронному разряду при токах от 1 *мка* до 1 *ма*; *В'Г* — соответствующий тлеющему разряду при токах порядка 0,5—300 *ма*. Обе последние формы разряда и используются практически для целей стабилизации напряжения.

Стабилизаторы с тлеющим разрядом начали выпускаться еще в 1930 г., а стабилизаторы с коронным разрядом только в последние 3—4 года. В связи с этим, а также ввиду малости токов, при которых может быть осуществлена стабилизация коронным разрядом, наибольшее распространение получили стабилизаторы с тлеющим разрядом.

Тлеющий разряд. При таком разряде, ограниченном последовательно включенным сопротивлением, в газоразрядной лампе с давлением газа 10—60 *мм рт. ст.* происходят следующие явления.

В результате ионизации, возникшей под влиянием приложенного к электродам напряжения, образуются большие количества электронов и ионов. Электроны быстро уходят к аноду, а ионы, обладающие значительно большей, чем электроны, массой, движутся к катоду медленнее и образуют в пространстве между электродами положительный пространственный заряд, т. е. область концентрации ионов. Этот положительный пространственный заряд (ионное облако) образует в лампе как бы газовый анод, который расположен ближе к катоду, чем анод лампы. Вследствие уменьшения расстояния между положительным пространственным зарядом и катодом увеличивается напряженность электрического поля, вызывающая повышение скоростей движения электронов и ионов, и возрастает ионизация, которая становится возможной на меньших от катода расстояниях. В связи с этим пространственный заряд также перемещается ближе к катоду. Расстояние между катодом и положительным пространственным зарядом в установившемся режиме определяется током через лампу: чем больше величина тока, тем ближе к катоду расположен пространственный заряд.

На рис. 2 (кривая *I*) показан характер распределения потенциала в лампе. Особенностью этого распределения является резкое падение потенциала вблизи катода (катодное падение). Величина катодного падения почти равна напряжению на электродах лампы. Небольшое снижение потенциала за областью положительного пространственного заряда объясняется наличием электронного пространственно-

го заряда (отрицательного). Распределение пространственных зарядов показано кривой *II* на рис. 2.

В соответствии с распределением потенциала в лампе располагается и свечение газа в ней (рис. 3). Вблизи поверхности катода находится очень тонкое темное пространство, за которым лежит слой катодного свечения *КС*, состоящий из частиц газа, возбужденных выбиваемыми из катода электронами. Затем следует темное катодное пространство *ТКП*, которое переходит в резко ограниченный слой тлеющего свечения *ТС*. В области темного катодного

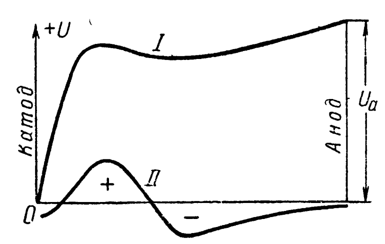


Рис. 2. Распределение потенциала и пространственных зарядов в газоразрядной лампе.

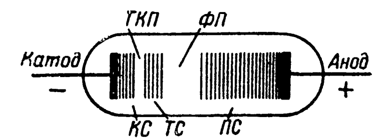


Рис. 3. Распределение свечения в газоразрядной лампе.

пространства расположен участок катодного падения потенциала с положительным пространственным зарядом, а в области тлеющего свечения находится отрицательный пространственный заряд. Далее расположено темное фарадеево пространство *ФП* и за ним столб положительного свечения *ПС*, доходящий до анода (анодное падение).

Наличие столба положительного свечения определяется исключительно размерами лампы. В некоторых типах газовых стабилизаторов и во многих других газовых приборах этот столб отсутствует, так как в них анод помещен в области темного фарадеева пространства. Положительный столб всегда имеется в газосветных лампах, употребляемых для световой рекламы и освещения.

Свечение слоя тлеющего свечения происходит в основном за счет энергии, которая выделяется при воссоединении (рекомбинации) электронов и ионов. Рекомбинация здесь легко возникает вследствие незначительной направленности движения электронов и ионов, что обусловлено малой величиной напряженности электрического поля в области тлеющего свечения.

Таким образом, тлеющий разряд в газах характеризуется тем, что образующиеся при ионизации газа положитель-

ные ионы, приобретая большие скорости в междуэлектродном пространстве, в результате действия напряжения на электродах ударяются о катод и, выбивая из него электроны, создают электронную эмиссию, поддерживающую этот разряд.

Другой особенностью газоразрядной лампы является способность сохранять при тлеющем разряде почти неизменную величину падения напряжения на ней при прохождении через нее токов различной величины.

В зависимости от величины напряжения, приложенного к лампе с ограничивающим сопротивлением, или от величины последнего катодное свечение может покрывать не всю поверхность катода, а только часть ее. Увеличение напряжения или уменьшение ограничивающего сопротивления вызывает увеличение тока и расширение светящейся поверхности катода. На практике было установлено, что когда свечением покрыта не вся поверхность катода, площадь светящейся поверхности пропорциональна току через лампу, а плотность тока и величина катодного падения, определяющая рабочее напряжение лампы, остаются постоянными. Такой режим называется режимом нормального катодного падения. При давлении газа в лампе, равном нескольким десяткам миллиметров ртутного столба, величина нормального катодного падения зависит от рода газа и материала поверхности катода.

Минимальное напряжение на электродах, при котором возникает газовый разряд, называется напряжением зажигания, а минимальное напряжение, при котором сохраняется разряд, называется напряжением потухания. Один газоразрядный промежуток при тлеющем разряде способен стабилизировать напряжение приблизительно от 40 до 400 *в*.

Напряжение зажигания тлеющего разряда зависит от нескольких факторов: рода газа, материала поверхности катода, произведения давления газа (плотности газа) на междуэлектродное расстояние и др.

Некоторые из этих факторов (род газа и металл, которым покрыта поверхность катода) определяют и величину нормального катодного падения (т. е. рабочего напряжения лампы), величина которого, таким образом, связана с напряжением зажигания. Возникновение разряда (зажигание) происходит не мгновенно, так как требуется некоторое время после приложения напряжения для того, чтобы ионы достигли катода или приобрели достаточную скорость для ударной ионизации. Поэтому, чем больше приложенное

напряжение, тем интенсивнее происходит ионизация и время, требующееся для зажигания, сокращается.

Коронный разряд. Подобно тлеющему разряду коронный разряд представляет одну из форм самостоятельного разряда в газе. Его можно охарактеризовать как неполный пробой газового промежутка (полным пробоем является искровой или дуговой разряды).

Коронный разряд возникает, когда при большом давлении (плотности) газа напряженность поля около одного или обоих электродов много выше, чем в остальных частях разрядного промежутка; это может быть легко достигнуто конфигурацией электродов. В этом случае ионизация и возбуждение нейтральных частиц газа сосредоточены в более или менее узкой области около электрода малого радиуса кривизны.

Коронный разряд может возникнуть только тогда, когда отношение междуэлектродного расстояния к радиусу кривизны коронирующего электрода больше определенного значения для каждой данной конфигурации разрядного промежутка, типа газа и его плотности.

При коронном разряде можно заметить две области: светящийся коронирующий слой небольшой толщины у коронирующего электрода и темное пространство, в котором никакого свечения не наблюдается. В коронирующем слое сосредоточены все процессы ионизации и возбуждения газа.

В зависимости от того, какую полярность имеет коронирующий электрод, существуют два вида короны: положительная и отрицательная. В газовых стабилитронах с коронным разрядом используется положительная корона, т. е. коронирующий электрод является анодом. При положительной короне электронные лавины образуются от внешней границы коронирующего слоя к аноду. Стационарный коронный разряд поддерживается в результате объемной ионизации газа световыми квантами (фотонами), создаваемыми в коронирующем слое; на границе этого слоя возникают свободные электроны, образующие лавины (напряженности поля у катода недостаточно для вырывания из него электронов).

Свободные электроны, появившиеся в области с достаточной напряженностью поля, двигаются со все увеличивающейся скоростью к аноду (напряженность поля увеличивается с приближением к аноду) и образуют лавины электронов, попадающие на анод.

Из коронирующего слоя во внешнюю область поступают только положительные ионы, которые и лимитируют ток через междуэлектродный промежуток, образуя пространственный положительный заряд. При постепенном увеличении разности потенциалов между электродами сначала происходит несамостоятельный тихий разряд, зависящий от остаточной (начальной) ионизации, а затем при определенном напряжении появляется коронный разряд. При дальнейшем увеличении междуэлектродной разности потенциалов растут ток через промежуток, размеры светящегося слоя короны и его яркость; при еще большем увеличении разности потенциалов происходит искровой пробой.

Сравнивая коронный разряд с тлеющим, можно констатировать, что оба возникают после перехода от несамостоятельного разряда в газе к самостоятельному. Подобно катодному падению при тлеющем разряде в случае коронного разряда имеется еще большее падение потенциала у коронирующего электрода. Коронирующий слой соответствует катодным частям тлеющего разряда, включая тлеющее свечение. Положительному столбу тлеющего разряда соответствует темная внешняя область коронного разряда. Подобно тлеющему разряду в лампе с коронным разрядом сохраняется постоянство падения потенциала, не зависящее в некоторых пределах от тока, протекающего через газовый промежуток. Это и позволяет использовать лампу с коронным разрядом для целей стабилизации напряжения, подобно тому как это делается с лампой тлеющего разряда, но в отличие от последней падение напряжения на лампе с коронным разрядом в несколько раз больше, а ток в несколько сот раз меньше, чем у лампы с тлеющим разрядом. При помощи коронного разряда можно стабилизовать любое напряжение, начиная приблизительно с 200 *в*, причем верхний предел этого напряжения ничем не ограничен.

УСТРОЙСТВО И ОСОБЕННОСТИ СТАБИЛИТРОНОВ И НЕОНОВЫХ ЛАМП

Стабилитроны тлеющего разряда. Газоразрядный стабилизатор тлеющего разряда (стабилитрон) представляет собой стеклянный баллон цилиндрической формы (рис. 4), наполненный каким-либо инертным газом (аргоном, гелием, неоном) при давлении в несколько десятков миллиметров ртутного столба. В баллоне помещены два концентрически расположенных стальных или никелевых электрода, выпол-

ненных в виде стаканчиков или цилиндриков. Часто анод стабилизатора делается в виде проволочного штырька, помещенного в центре цилиндрического катода.

Первые стабилитроны, которые могли одновременно использоваться и как делители напряжения, имели три-пять таких электродов; жесткость их крепления обеспечивалась при помощи слюдяных или керамических опор Разрез стабилитрона-делителя показан на рис. 5.

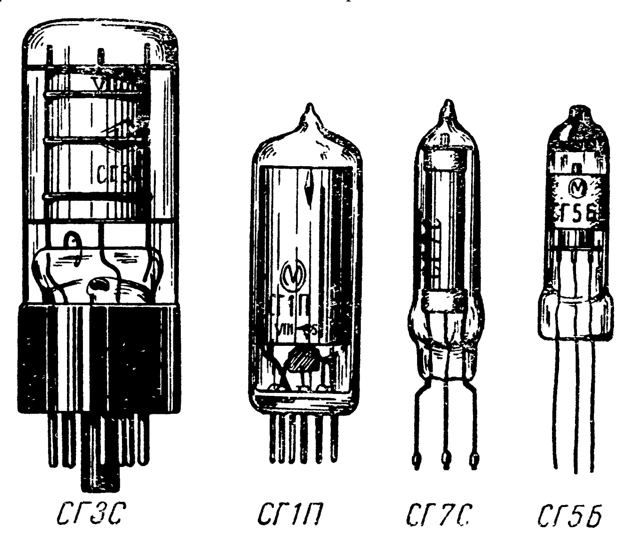


Рис. 4. Внешний вид стабилитронов.

Стабилитроны выпускаются с октальным цоколем (СГ2С, СГ3С, СГ4С), бесцокольные — пальчиковые (СГ1П, СГ2П) и с проволочными выводами, непосредственно впаиваемыми в схему (СГ5Б, СГ7С, СГ8С, СГ9С — три последних типа — коронного разряда).

Катод стабилитрона тлеющего разряда, покрывающийся, как было указано выше, свечением, площадь которого пропорциональна току, должен иметь бо́льшую, чем анод, поверхность. Чем больше поверхность катода, тем больше максимальный ток, при котором еще сохраняется катодное падение. Поэтому катодом в стабилитроне всегда является наружный электрод, имеющий наибольшую площадь. Для понижения зажигающего и рабочего напряжений стабилитрона поверхность его катода активируется, т. е. покрывается тончайшей (достаточно одноатомной) пленкой какого-

нибудь редкоземельного металла или сплавом редкоземельных металлов с железом, так называемым мишметаллом. Покрытие катода производится термическим испарением таблетки редкоземельного металла с анода, куда она для этого помещается. Кроме этого, с целью снижения напряжения зажигания в некоторых стабилитронах тлеющего разряда катод снабжается отростком (крючком), приближенным к аноду. Этот отросток катода хорошо виден в стабилитроне СГ4С, если смотреть на него сверху.

Величина номинального (рабочего) напряжения, определяемая в основном катодным падением, изменяется в зависимости от газа, которым наполняется баллон стабилитрона, и материала, активирующего катод. Часто для наполнения применяют смесь газов: так, баллон стабилитрона СГ2С наполнен неоном, а баллон СГ3С — смесью аргона и гелия. Помимо этого, в некоторых типах стабилитронов для изменения величины рабочего напряжения используется, кроме катодного падения потенциала, и анодное падение (рис. 2). Последнее немного повышает рабочее напряжение до округленной величины. Так, например, в стабилитроне СГ4С катодное падение составляет около 132 *в*, а анодное — около 18 *в*, что и обеспечивает 150 *в* рабочего напряжения.

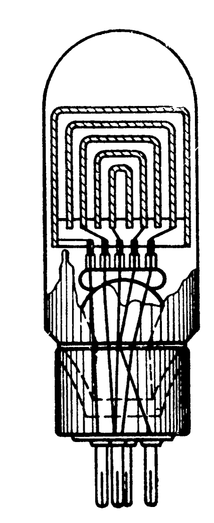


Рис. 5. Разрез стабилитрона-делителя STV-280/40.

Изготовленный стабилитрон предварительно формуется рабочим током в течение 40—80 *ч*; в конце формовки рабочее и зажигающее напряжения изменяются на ±10—20%. Это обстоятельство, помимо неодинаковых размеров катода и анода, также подчеркивает необходимость соблюдения полярности при включении стабилитрона в схему.

Стабилитроны, даже одного типа, нельзя соединять параллельно с целью увеличения тока, потребляемого нагрузкой, так как при этом невозможно обеспечить одновременность их зажигания и одинаковый режим тлеющего или коронного разряда. Действительно, зажигание одного из двух соединенных параллельно стабилитронов делает невозможным зажигание второго, ибо при этом напряжение на нем становится равным номинальному напряжению (рабочему)

зажегшегося стабилитрона, которое меньше напряжения зажигания.

Однако однотипные по току стабилитроны можно соединять последовательно для повышения стабилизованного напряжения или образования делителя. Например, соединив последовательно стабилитроны СГ2С и СГ4С, можно получить стабилизованные напряжения в 225 и 150 *в* или 225 и 75 *в* (относительно минуса) в зависимости от порядка их включения.

Между стабилизуемым источником электрического напряжения и стабилитроном всегда должно быть включено ограничительное сопротивление, называемое балластным или добавочным. Это сопротивление предохраняет стабилитрон от образования дугового или искрового разряда (пробоя) между электродами и, кроме того, как будет показано ниже, определяет стабилизирующие свойства схемы.

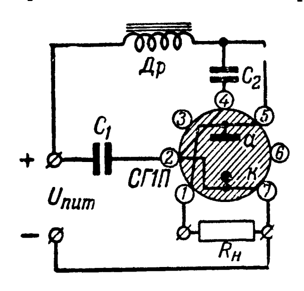


Рис. 6. Схема включения стабилитронов СГ1П и СГ2П с защитой конденсаторов фильтра.

У некоторых стабилитронов (СГ2С, СГ3С, СГ4С и др.) в цоколе сделана перемычка для того, чтобы, включая ее в цепь первичной или повышающей обмотки силового трансформатора разорвать какую-либо из этих цепей при вынутом стабилитроне и, снимая этим с конденсаторов фильтра выпрямленное напряжение, защитить их от возможного пробоя, так как в отсутствие стабилитрона напряжение на конденсаторах может достигнуть опасной для них величины. Для этой же цели могут быть использованы контакты, дополнительно присоединенные к электродам в пальчиковых стабилитронах СГ1П и СГ2П (рис. 6).

Неоновые лампы. В неоновых лампах подобно стабилитронам используется тлеющий разряд, который и является источником свечения. Эти лампы обычно наполняются неоном, имеющим красно-оранжевое свечение, лучше видимое, чем свечение гелия (синее) или аргона (сиреневое). Для того чтобы свечение газа происходило с наружной стороны электродов, где оно лучше видно, расстояние между электродами делается значительно меньшим, чем в стабилитронах. При этом длина пробега электронов между электродами оказывается недостаточной для ионизации газа и тлею-

щий разряд возникает снаружи электродов, где пути электронов могут быть более длинными, и поэтому возможна ионизация.

Свечение происходит у катода (отрицательного электрода), а при питании переменным током — у обоих электродов, так как они поочередно являются катодом. Напряжение зажигания неоновой лампы при переменном токе

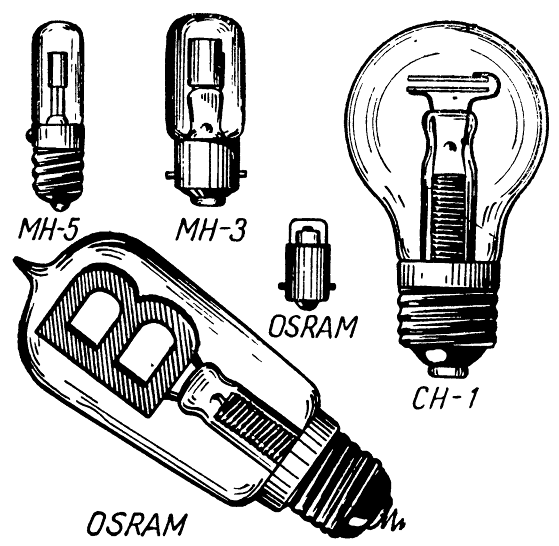


Рис. 7. Внешний вид газоразрядных сигнальных ламп.

в 1,41 раза меньше (для эффективного значения), чем при постоянном токе.

В полях высокой частоты неоновые лампы светятся без присоединения их электродов; в этом случае э. д. с., обеспечивающая разряд в газе, создается электромагнитным полем высокой частоты. Неоновые лампы, работая, находятся в режиме аномального катодного падения, когда вся поверхность катода покрыта свечением. При изменении напряжения на электродах меняются величина тока через лампу и яркость ее свечения.

Существует большое разнообразие в форме и взаимном расположении электродов у неоновых ламп, так же как и в форме их баллонов и общих размерах (рис. 7). Неоновые лампы имеются как размером с обычную осветительную лампу, так и в половину лампочки карманного фонаря.

Электроды бывают в виде букв, дисков, колец и просто двух проволочек.

Для повышения яркости свечения баллон у некоторых неоновых ламп имеет в верхней части (над электродами) утолщение, образующее маленькую собирающую линзу. Неоновые лампы, так же как и стабилитроны, нельзя включать без ограничительного (добавочного) сопротивления, предохраняющего лампу от пробоя. Лампы большего размера имеют добавочное сопротивление (проволочное или мастичное), которое смонтировано в цоколе (ножке). Лампы малого размера не имеют добавочного сопротивления и его нужно обязательно включать снаружи; величина этого сопротивления определяется в зависимости от напряжений питания, горения (рабочего) и максимального тока для данного типа лампы. Следует иметь в виду, что многие из неоновых ламп могут служить (при условии отключения ограничительного сопротивления в цоколе) стабилизаторами.

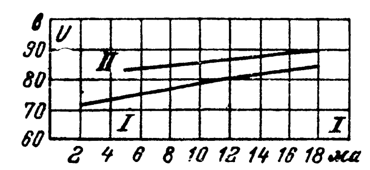


Рис. 8. Вольт-амперные характеристики лампы СН-2, работающей в качестве стабилизатора напряжения.

Пригодность неоновой лампы для работы в качестве стабилизатора определяется ее вольт-амперной характеристикой. Предполагая использовать какую-либо неоновую сигнальную лампу, рекомендуется до снятия ее характеристики произвести формовку электродов, подключив для этого лампу на 40—80 *ч* к источнику постоянного тока. В дальнейшем необходимо соблюдать эту полярность включения.

На рис. 8 показана вольт-амперная характеристика неоновой лампы СН-2 (иногда ее называют по форме электродов пятачковой). Приводим ее данные как стабилизатора: напряжение зажигания $U_{заж}=98$ *в*; рабочее напряжение $U_{ст}=85$ *в*; минимальный рабочий ток $I_{ст.мин}=5$ *ма*; максимальный рабочий ток $I_{ст.макс}=15$ *ма*; изменение напряжения в этих пределах изменения тока $\Delta U_{ст}=4,5$ в; внутреннее сопротивление (см. стр. 18) $r_{i\,ст}=450$ *ом*. Результат формовки хорошо виден из сопоставления характеристик рис. 8. Кривая *I* снята с неотформованными электродами, т. е. при включении напряжения обратной полярностью, а кривая *II* — при правильной полярности, соответствующей включению при формовке.

Большинство неоновых сигнальных ламп, выпускаемых отечественной промышленностью (за исключением МН-8), обладает особенностью потухать (прекращать пропускать через себя ток) при напряжении, значительно меньшем, чем напряжение зажигания лампы. Это приводит к тому, что такая лампа как бы затягивает горение и обладает так называемой «гистерезисной характеристикой». Эта неприятная особенность препятствует эффективному использованию таких неоновых ламп для целого ряда вспомогательных целей. Например, в стробоскопическом тахометре неоновая лампа с гистерезисной характеристикой, увеличивающей продолжительность вспышки, уменьшает четкость изображения и, не позволяя получить короткую вспышку, ограничивает верхний предел измеряемых оборотов.

Стабилитроны коронного разряда. Весьма сходное устройство со стабилитронами тлеющего разряда имеют коронные стабилитроны типов СГ7С, СГ8С и СГ9С (рис. 4); их баллоны наполнены водородом, но при более высоком давлении. Величиной давления газа варьируется величина рабочего напряжения стабилитрона. При изготовлении коронных стабилитронов требуется тщательное (в смысле отсутствия шероховатостей) выполнение изготовляемых из никеля электродов, особенно анода. Существенное влияние на форму вольт-амперной характеристики оказывает точность геометрической формы и взаимного расположения электродов (аксиальная симметрия), что обеспечивает одновременное возникновение ионизации газа по всей длине анода. Ввиду этого для обеспечения точности сборки и достаточной жесткости конструкции анод и катод в коронных стабилитронах жестко соединены при помощи двух фасонных керамических бусинок (вставок), помещенных вверху и внизу цилиндрического катода.

В отличие от стабилитронов тлеющего разряда, имеющих до возникновения разряда (зажигания) ничтожную проводимость, коронные стабилитроны при напряжениях ниже зажигающего обладают заметной проводимостью (утечкой), обусловливающей при 0,75 рабочего напряжения ток утечки от 0,5 до 2 *мка*. Эта утечка создается частицами никеля, осевшими на внутренней поверхности керамических вставок в процессе тренировки стабилитрона (при этом происходит катодное распыление). Также в отличие от стабилитронов тлеющего разряда, зажигающихся почти мгновенно, коронные стабилитроны требуют для возникновения коронного разряда (зажигания) от 15 до 30 *сек*.

Параметры стабилитрона. Стабилизирующие свойства стабилитрона хорошо иллюстрируются рис. 9, где изображены вольт-амперные характеристики стабилитронов СГЗС, СГ4С и СГ9С. Эти характеристики показывают, как изменяется напряжение на стабилитроне в зависимости от тока через него. Они показывают также, что зажигание стабилитрона (участок характеристики при $I_{cm} \approx 0$, показанный пунктиром) происходит при напряжении, несколько большем

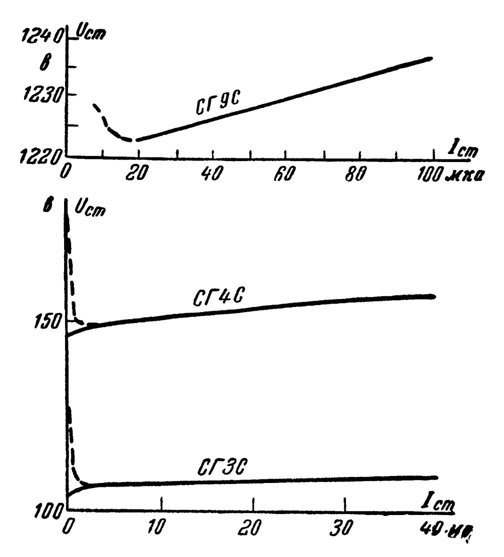


Рис. 9. Вольт-амперные характеристики стабилитронов СГЗС, СГ4С и СГ9С

рабочего, а его потухание (тот же участок, показанный сплошной линией) при напряжении меньшем.

Вольт-амперная характеристика стабилитрона (рис. 10) позволяет определить его внутреннее (динамическое) сопротивление $r_{i\,cm}$, которое является важным параметром и составить его эквивалентную схему. Если сопоставить вольт-амперную характеристику стабилитрона с вольт-амперной характеристикой активного сопротивления (рис. 11), подчиняющегося закону Ома

$$U = IR, \tag{1}$$

то легко обнаружить основную разницу, состоящую в том, что характеристика стабилитрона не проходит через нуль

и отличается от прямой линии изгибом при малых значениях тока.

Идеализируя вольт-амперную характеристику стабилитрона в виде наклонной прямой (отбросив изогнутый участок характеристики, т. е. передвинув ось напряжений в точку $I_{ст.мин}$, которая в этом случае становится нулевой),

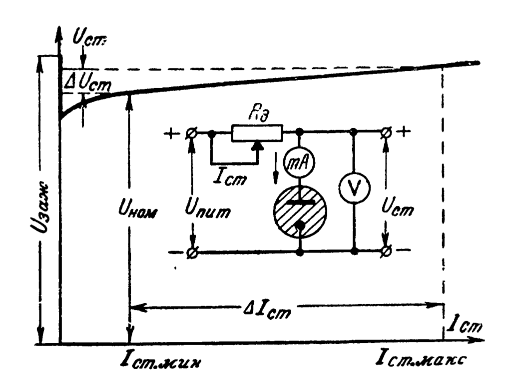


Рис. 10. Типовая вольт-амперная характеристика стабилитрона и схема ее измерения.

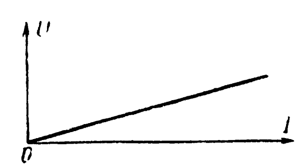


Рис. 11. Вольт-амперная характеристика активного сопротивления.

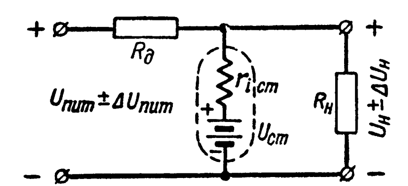


Рис. 12. Эквивалентная схема стабилизующей ячейки.

получим закон изменения такой идеализированной характеристики в виде:

$$U_{ст} = U_{ном} + I_{ст} r_{i\,ст}. \tag{2}$$

Из этого выражения следует, что стабилитрон эквивалентен батарее, включенной навстречу питающему источнику, с напряжением, равным номинальному напряжению стабилитрона $U_{ном}$ и внутренним (динамическим) сопротивлением $r_{i\,ст}$, которое представляет собой внутреннее сопротивление стабилитрона для изменений (приращений) протекающего через него тока (рис. 12).

Это внутреннее сопротивление стабилитрона иногда называют его внутренним сопротивлением переменному току (по аналогии с внутренним сопротивлением электронной лампы). Численно внутреннее сопротивление представляет собой отношение приращения напряжения на электродах стабилитрона к соответствующему приращению протекающего через него тока:

$$r_{i\,cm} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}}. \qquad (3)$$

Эта величина сопротивления является постоянной для рабочего (прямолинейного) участка реальной вольт-амперной характеристики стабилитрона.

Определяемое таким образом внутреннее сопротивление стабилитрона значительно отличается от сопротивления постоянному току (иногда называемое статическим сопротивлением), которое вычисляется по закону Ома: делением величины напряжения на электродах стабилитрона на протекающий через него ток. Сопротивление постоянному току зависит от величины тока через стабилитрон и не является постоянной величиной. Его значение много больше динамического внутреннего сопротивления. Например, внутреннее сопротивление стабилитрона СГЗС равно 80 *ом*, а сопротивление постоянному току в средней части вольт-амперной характеристики (при токе 20 *ма*) составляет около 5 300 *ом*.

При отсутствии вольт-амперной характеристики внутреннее сопротивление стабилитрона можно определить, если известно изменение напряжения на нем ΔU_{cm} при изменении через него тока от минимального $I_{cm.мин}$, при котором существует разряд, до максимального $I_{cm.макс}$, допускаемого его конструкцией.

Для большинства стабилитронов величина $r_{i\,cm}$ колеблется в пределах от 50 до 300 *ом*. У коронных стабилитронов $r_{i\,cm}$ составляет десятки килоом. По отношению к потребителю стабилизованного напряжения (по отношению к нагрузке, присоединенной параллельно стабилитрону) величина $r_{i\,cm}$ представляет собой как бы внутреннее сопротивление источника питания.

В результате измерений (например, при помощи схемы рис. 13) установлено, что внутреннее сопротивление стабилитрона зависит от частоты. Кривая *I* на рис. 13 показывает типичную зависимость внутреннего сопротивления ста-

билитрона СГ3С от частоты. На ней видно, что уже при частоте около 600 *гц* внутреннее сопротивление вдвое больше, чем при частоте 50 *гц*. Такая зависимость внутреннего сопротивления стабилитрона от частоты означает, что оно является комплексным сопротивлением, т. е. содержит реактивную составляющую индуктивного характера. Через всякий источник питания, в данном случае через стабилитрон, проходит не только постоянный, но и колебательный ток питаемого устройства низкой или высокой частоты (например, переменная составляющая анодного тока усилитель-

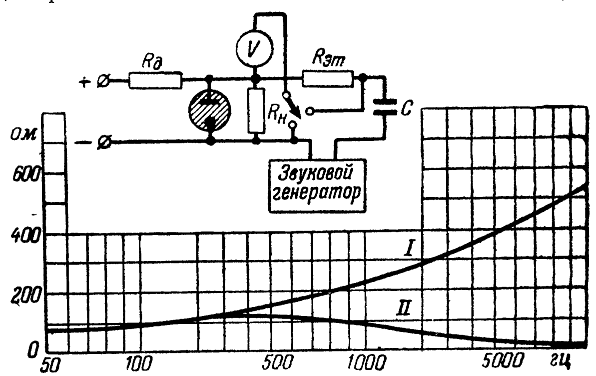


Рис. 13. Частотная характеристика внутреннего сопротивления стабилитрона СГ3С.

ных каскадов). Поэтому падение напряжения на внутреннем сопротивлении стабилитрона, как бы оно мало ни было, будет возрастать с частотой.

Для уменьшения $r_{i\,ст}$ (как внутреннего сопротивления источника) в области звуковых и высоких частот рекомендуется шунтировать стабилитрон конденсатором в 1—4 *мкф*. Кривая *II* на рис. 13 показывает зависимость внутреннего сопротивления от частоты при шунтировании стабилитрона конденсатором емкостью в 1 *мкф*.

Низкое внутреннее сопротивление стабилитрона переменному току обеспечивает улучшение фильтрации выпрямителя, а также уменьшает нежелательные связи через него, приводящие часто к самовозбуждению (генерации). Это обстоятельство можно пояснить следующим примером. Применение стабилизатора СГ3С, имеющего внутреннее сопротивление около 80 *ом*, для частоты 50 *гц* равноценно шунтированию источника питания конденсатором емкостью в 40 *мкф*, а для частоты 5 *гц* стабилитрон равноценен кон-

денсатору емкостью в 400 *мкф*. Отсюда видно, какую ценность представляет стабилитрон для фильтрации весьма низких частот. В том случае, если в стабилизирующем устройстве работают два или более последовательно соединенных стабилитрона, внутреннее сопротивление стабилизирующей ячейки будет представлять сумму внутренних сопротивлений отдельных стабилитронов.

Выше было указано, что зажигающее напряжение стабилитрона больше, чем рабочее. Для того чтобы стабилитрон зажегся в момент включения питания, напряжение на нем должно быть на 20—50 *в* выше номинального (рабочего).

Для стабилитрона-делителя или нескольких последовательно соединенных стабилитронов напряжение зажигания должно быть больше общего рабочего напряжения лишь на ту величину, на которую напряжение зажигания одного стабилитрона (промежутка) превышает рабочее напряжение этого же стабилитрона, т. е.

$$U_{заж} = U_{ст} + (U'_{заж} - U'_{ст}),$$

где $U'_{заж}$ и $U'_{ст}$ — зажигающее и рабочее напряжения одного стабилитрона.

Однако для этого каждый из электродов (кроме соединенных с питающим напряжением) стабилитрона тлеющего разряда должен быть присоединен через сопротивление в 0,2—0,3 *Мом* к «минусу» или «плюсу» питающего напряжения. Наличие этих сопротивлений обеспечивает поочередное зажигание стабилитронов, т. е. подачей на первый из них полного напряжения в момент включения, а затем уменьшающегося на величину рабочего напряжения зажегшихся стабилитронов, так, что последнему из них остается его напряжение зажигания. При коронных стабилитронах эти облегчающие зажигание последовательно соединенных стабилитронов сопротивления должны в зависимости от типа стабилитронов выбираться такой величины, чтобы ток через них не превышал 10—20 *мка*.

Наиболее трудно обеспечить зажигание стабилитрона, если в момент подачи на него питающего напряжения присоединенная к нему нагрузка будет потреблять наибольший допустимый ток. В этих условиях нагрузка препятствует повышению напряжения на стабилитроне в первый момент после включения. Поэтому облегчить зажигание стабилитрона тлеющего разряда можно, используя в качестве добавочного сопротивления (или его части) бареттер или дру-

гое сопротивление с положительным температурным коэффициентом, например лампу накаливания. Наличие такого сопротивления уменьшает падение напряжения на нем, обусловленное током нагрузки, так как в момент включения питающего напряжения это сопротивление, будучи холодным, обладает значительно меньшей (примерно в 3—10 раз) величиной и, следовательно, на стабилитрон будет подано большее напряжение.

Стабилитроны допускают 30%-ную кратковременную перегрузку током против номинала. Если стабилизируется питание устройства, работающего в импульсном режиме, то нагрузку стабилитрона необходимо исчислять по максимальному, а не по среднему значению тока в импульсе. Если этот импульс высокочастотный, то расчет ведут для его постоянной составляющей, так как высокочастотная составляющая будет проходить через конденсатор, включенный параллельно стабилитрону.

Если в стабилизирующем устройстве отключается нагрузка, то это вызывает немедленное увеличение тока, идущего через стабилитрон, на величину тока, потреблявшегося нагрузкой. Поэтому максимальный ток, потребляемый нагрузкой, и наибольший ток через стабилитрон в рабочем режиме в сумме не должны превышать значение максимально допускаемого тока для данного стабилитрона. Только в этом случае отключение нагрузки не вызовет порчи стабилитрона прохождением через него тока больше допустимого. Если считать, что нагрузка будет присоединена к стабилитрону постоянно, тогда можно допустить, чтобы сумма токов через нагрузку и лампу была бы несколько больше максимально допустимого тока для стабилитрона. Однако в этом случае стабилитрон может не зажечься без кратковременного отключения нагрузки. Кроме этого, повышение тока нагрузки ведет к уменьшению добавочного сопротивления $R_д$, что, как будет подробно показано дальше, уменьшает коэффициент стабилизации. Практически максимальное значение тока нагрузки не должно превышать максимально допустимый ток через стабилитрон.

КОЭФФИЦИЕНТ СТАБИЛИЗАЦИИ СХЕМЫ СО СТАБИЛИТРОНОМ

Коэффициент стабилизации схемы со стабилитроном определяется не только свойствами последнего, но и данными схемы. Для облегчения расчета схемы целесообразно исполь-

зовать эквивалентную схему стабилизирующей ячейки, показанную на рис. 12. В этой схеме стабилитрон представлен как источник кажущегося противодействующего напряжения $U_{ст}$ (номинальное напряжение стабилитрона) с внутренним сопротивлением $r_{i\ ст}$.

Из схемы видно, что добавочное сопротивление $R_д$ и внутреннее сопротивление стабилитрона $r_{i\ ст}$ образуют по отношению к нестабильному — изменяющемуся напряжению $U_{пит}$ делитель (величиной шунтирующего сопротивления $R_н$ можно пренебречь ввиду того, $r_{i\ ст} \ll R_н$). Это позволяет определить изменение стабилизованного напряжения на нагрузке $\Delta U_н \approx \Delta U_{ст}$ при изменении питающего напряжения $\Delta U_{пит}$.

Приращение напряжения на стабилитроне будет составлять часть приращения питающего напряжения, определяемую соотношением плеч делителя:

$$\Delta U_{ст} = \Delta U_{пит} \frac{r_{i\ ст}}{R_д + r_{i\ ст}} \approx \Delta U_{пит} \frac{r_{i\ ст}}{R_д} \tag{4}$$

($r_{i\ ст}$ в знаменателе пренебрегаем, так как $R_д \gg r_{i\ ст}$).

Формула (4) показывает, что изменение напряжения после стабилитрона в $R_д/r_{i\ ст}$ раз меньше изменения питающего напряжения.

Изменение стабилизованного напряжения в процентах представит собой умноженное на 100 отношение приращения этого напряжения $\Delta U_{ст}$ ко всему стабилизованному напряжению:

$$\Delta U_{ст\%} = \frac{\Delta U_{ст}}{U_{ст}} 100. \tag{5}$$

Для практических расчетов удобнее выразить процент колебаний стабилизованного напряжения $\Delta U_{ст\%}$ в зависимости от процентной нестабильности питающего напряжения. Этот процент может быть рассчитан по формуле, которая выводится из выражения (4):

$$\Delta U_{ст\%} = \Delta U_{пит\%} \frac{r_{i\ ст}}{R_д} \cdot \frac{U_{пит}}{U_{ст}}. \tag{6}$$

Для характеристики стабилизирующих свойств схемы со стабилитроном надо знать еще коэффициент стабилизации. Он представляет собой отношение процентного изменения

питающего напряжения к процентному же изменению стабилизованного напряжения, т. е.

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{num\%}}{\Delta U_{cm\%}} = \frac{R_\partial U_{cm}}{r_{i\,cm} U_{num}}. \quad (7)$$

Из эквивалентной схемы следует, что чем больше R_∂, тем больше должно быть питающее напряжение U_{num}. Однако большое значение U_{num} невыгодно с энергетической точки зрения, так как бо́льшая часть питающего напряжения будет теряться в добавочном сопротивлении.

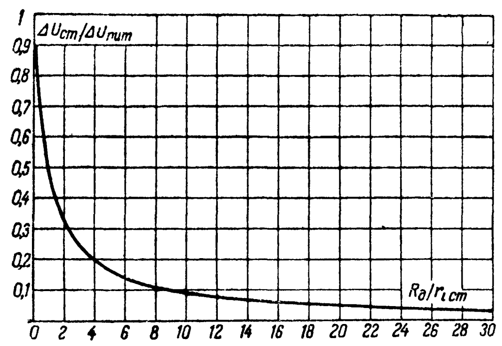


Рис. 14. Графическое изображение зависимости отношения изменения стабилизованного напряжения к изменению питающего напряжения от отношения добавочного сопротивления стабилитрона к его внутреннему сопротивлению.

Для решения вопроса о правильном выборе величины добавочного сопротивления в связи с его влиянием на стабилизацию можно воспользоваться графической зависимостью, связывающей величины стабилизации и добавочного сопротивления в соответствии с полной формулой (4). Эта зависимость (рис. 14) показывает, что увеличение отношения $R_\partial / r_{i\,cm}$ больше 10—12 не имеет смысла, так как при дальнейшем его увеличении отношение $\Delta U_{cm} / \Delta U_{num}$, определяющее коэффициент стабилизации, уменьшается очень медленно, и выигрыш в коэффициенте стабилизации не окупается повышением напряжения питания.

На рис. 15 приводится семейство кривых, рассчитанных по формуле (7), которые позволяют определить коэффициент стабилизации в зависимости от отношения U_{num} / U_{cm} для

различных $R_д/r_{i\,cm}$, что позволяет легко оценить ожидающийся коэффициент стабилизации в зависимости от реальных данных.

Однако увеличение добавочного сопротивления несколько увеличивает пределы изменений питающего напряжения, в которых обеспечивается стабилизация (диапазон стабилизации). Ввиду того, что работа стабилитрона ограничена

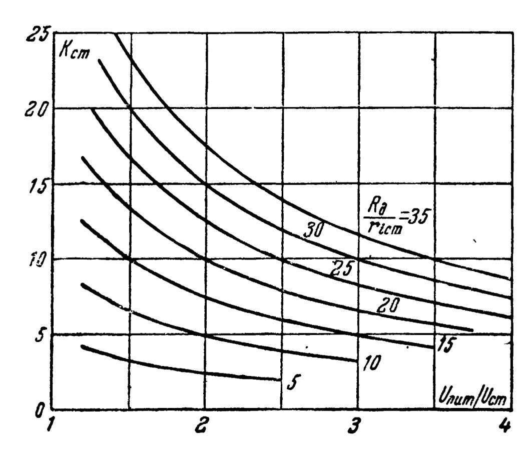


Рис. 15. Зависимость коэффициента стабилизации K_{cm} от отношения питающего напряжения $U_{пит}$ к стабилизованному напряжению U_{cm} для различных отношений величин добавочного сопротивления $R_д$ к внутреннему сопротивлению стабилитрона $r_{i\,cm}$.

минимальным и максимальным током через него, пределы изменений питающего напряжения, в которых сохраняются стабилизирующие свойства схемы, определяются как произведение максимального изменения тока через стабилитрон (диапазон изменения тока) на добавочное сопротивление (внутренним сопротивлением стабилитрона пренебрегаем ввиду его незначительной величины по сравнению с добавочным сопротивлением), т. е.

$$\Delta U_{пит} = (I_{cm.макс} - I_{cm.мин})\, R_д \qquad (8)$$

или, переводя в проценты к питающему напряжению,

$$N = \frac{100(I_{cm.макс} - I_{cm.мин})\, R_д}{U_{пит}}. \qquad (9)$$

Величина питающего напряжения согласно схеме рис. 12, в которой стабилитрон и добавочное сопротивление соединены последовательно, должна быть равна сумме стабилизованного напряжения на нагрузке $U_{ст}$ и падения напряжения на добавочном сопротивлении, создаваемого током нагрузки $I_{н}$ плюс током через стабилитрон $I_{ст}$, т. е.

$$U_{пит} = U_{ст} + (I_{н} + I_{ст}) R_{д}. \qquad (10)$$

Можно принять за $I_{ст}$ минимальный ток через стабилитрон, который для большинства стабилитронов тлеющего разряда равен 5 *ма*, а для коронных стабилитронов лежит в пределах 3—10 *мка*. При этом надо иметь в виду, что при повышении питающего напряжения ток через стабилитрон увеличивается, а при уменьшении этого напряжения ток уменьшается. Это и позволяет за счет изменяющегося падения напряжения на добавочном сопротивлении обеспечить постоянное напряжение на электродах стабилитрона (нагрузке).

Если при расчете величины питающего напряжения учитывается минимальное значение тока через стабилитрон, то для обеспечения стабилизации нужно считать и питающее напряжение также минимальным. Это означает, что если необходимо обеспечить постоянство стабилизованного напряжения при колебаниях сетевого напряжения на ±10%, то напряжение выпрямителя (питания), рассчитанное по формуле (10) для минимального тока через стабилитрон, должно соответствовать 0,9 сетевого напряжения, т. е. 90% от номинального значения. Несоблюдение этого приведет к тому, что стабилизация будет односторонней, при которой только возрастание питающего напряжения будет регулироваться стабилитроном. Снижение же питающего напряжения не сможет быть скомпенсировано стабилитроном только потому, что ток через него уже не может уменьшиться без потухания стабилитрона, так как в расчете принималось минимальное значение этого тока.

Если при расчете по формуле (10) учитывать максимальное значение тока через стабилитрон $I_{ст.макс}$, то при этом стабилизация будет происходить только при снижении питающего напряжения. Повышение питающего напряжения в этом случае может привести к порче стабилитрона из-за слишком большого тока через него. Поэтому для большинства случаев стабилизации правильным будет при расчете питающего напряжения полагать, что оно изменяется

одинаково в обе стороны, и принимать среднее значение тока через стабилитрон равным полусумме максимального и минимального токов:

$$I_{ст.ср} = \frac{I_{ст.мин} + I_{ст.макс}}{2}. \qquad (11)$$

Из вышеизложенного следует, что значения питающего напряжения $U_{пит}$ и добавочного сопротивления $R_д$ оказывают влияние не только на коэффициент стабилизации, но и на стабилизируемые (сдерживаемые) пределы колебаний питающего напряжения. Для того чтобы показать, как от величины отношения $R_д/r_{i\,ст}$ зависят стабилизируемые пределы колебаний напряжения питания, формулу (9) при помощи выражений (3), (10), (11) преобразуем в выражение, связывающее пределы стабилизации с отношением $R_д/r_{i\,ст}$ и параметрами стабилизатора и нагрузки:

$$N = \frac{100}{\frac{1}{2} + \frac{I_{ст.мин}}{\Delta I_{ст}} + \frac{I_н}{\Delta I_{ст}} + \frac{U_{ст}}{\Delta U_{ст}} \cdot \frac{r_{i\,ст}}{R_д}}. \qquad (12)$$

По формуле (12) рассчитано семейство характеристик, показанное на рис. 16, для трех различных токов нагрузки стабилитрона СГ4С (30, 15 и 7,5 *ма*). Характеристики показывают, что стабилитрон СГ4С, у которого $I_{ст.мин} = 5$ *ма*, $\Delta I_{ст} = 25$ *ма*, $I_н = 30$ *ма* и $\Delta U_{ст} = 4$ *в*, при $R_д/r_{i\,ст} \approx 10$ способен стабилизировать 20% изменения питающего напряжения (колебания на $\pm 10\%$), а при $R_д/r_{i\,ст} \approx 20$ способен стабилизовать изменения питающего напряжения на 29%. Если нагрузка стабилитрона потребляет половину максимально допускаемого им тока, то пределы стабилизации увеличиваются до 23% для первого случая и до 36% для второго. Следует иметь в виду, что при $R_д/r_{i\,ст} \approx 10$ напряжение питания должно быть примерно в 1,5 раза больше стабилизованного напряжения, а при $R_д/r_{i\,ст} \approx 20$ — примерно в 2 раза больше.

Сопоставление кривых рис. 15 и 16 показывает, что пределы стабилизации в отличие от коэффициента стабилизации увеличиваются почти пропорционально отношению $R_д/r_{i\,ст}$, т. е. растут с увеличением добавочного сопротивления.

Когда напряжение, которое желают стабилизовать, известно заранее, расчет схемы со стабилитроном должен производиться в обратном порядке. В этом случае, исходя из

напряжения питания, сначала определяют величину добавочного сопротивления при заданном токе нагрузки:

$$R_{\partial} = \frac{U_{пит} - U_{ст}}{I_{н} + I_{ст.ср}}, \qquad (13)$$

а затем и остальные величины.

При расчете за величину $U_{пит}$ следует принимать напряжение на выходе выпрямителя, если этот выпрямитель питает, кроме цепи стабилитрона, и другие цепи, т. е. если через дроссель фильтра выпрямителя проходит ток не только рассчитываемого стабилитрона. Если же через дроссель протекает только ток цепи стабилитрона, то можно рассматривать и дроссель как ограничительное добавочное сопротивление. В этом случае при расчете следует принять за $U_{пит}$ напряжение на входе фильтра и учесть сопротивление дросселя, убавив на его величину подсчитанное значение R_{∂}.

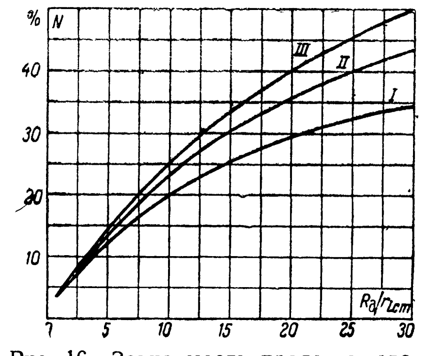


Рис. 16. Зависимость пределов стабилизации схемы со стабилитроном СГ4С от отношения величины добавочного сопротивления к внутреннему сопротивлению стабилитрона.

I — для тока нагрузки 30 *ма*; *II* — для тока 15 *ма*; *III* — для 7,5 *ма*.

Отсюда следует, что дроссель, применяемый в фильтре выпрямителя, питающего только стабилитрон, может иметь повышенное сопротивление обмотки. При этом для улучшения фильтрации добавочное сопротивление следует вводить в фильтровую ячейку (как дополнение к дросселю) или, что лучше, включить до дросселя как самостоятельную фильтрующую ячейку, которая уменьшит переменную составляющую тока через дроссель.

Интересно отметить, что при потреблении от стабилитрона тока в 30—40 *ма* в качестве добавочного сопротивления или части его может быть с успехом использован высоковольтный железоводородный бареттер (50—250 *в*) с номинальным током бареттирования (нагрузки) в 40—60 *ма*. Это несколько усложняет схему стабилизирующего устройства, но зато при этом обеспечивается зажигание стабилитрона в трудных, в смысле зажигания, условиях (см.

стр. 20), так как в момент подачи питающего напряжения холодный бареттер имеет незначительное сопротивление и, следовательно, на стабилитрон подается бо́льшая величина напряжения и, кроме того, повышается в несколько раз коэффициент стабилизации для медленных колебаний питающего напряжения, потому что внутреннее сопротивление высоковольтного бареттера (так называемое сопротивление переменному току) равно 10 000—15 000 *ом*.

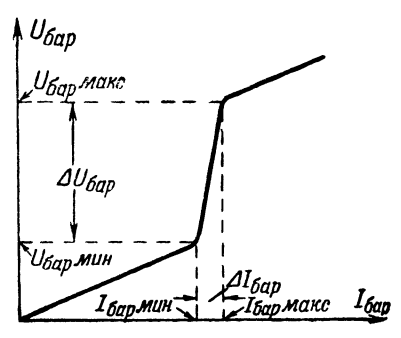


Рис. 17. Типовая вольт-амперная характеристика бареттера.

Внутреннее (динамическое) сопротивление бареттера подсчитывается подобно внутреннему сопротивлению стабилитрона по его вольт-амперной характеристике (рис. 17). Оно представляет собой величину отношения приращения напряжения к приращению тока на рабочем участке бареттера:

$$r_{i\,бар} = \frac{\Delta U_{бар}}{\Delta I_{бар}}. \tag{14}$$

Подсчитанная таким образом величина внутреннего сопротивления бареттера справедлива только для плавных (медленных) изменений напряжения, так как за быстрыми изменениями напряжения бареттер не успевает следить из-за собственной тепловой инерции.

Расчет добавочного сопротивления в случае использования бареттера ведется исходя из напряжения, получающегося, если питающее напряжение убавить на величину среднего рабочего напряжения бареттера (например, для бареттера на 85—250 *в* оно равно около 170 *в*), т. е.

$$R_д = \frac{U_{пит} - (U_{бар} + U_{ст})}{I_н + I_{ст.ср}}. \tag{15}$$

При этом может оказаться, что добавочное сопротивление и не потребуется, если питающее напряжение не слишком велико.

Незначительное внутреннее сопротивление стабилитрона обеспечивает ему еще одно ценное свойство — поддержание

постоянства напряжения независимо от колебаний тока нагрузки. Это особенно существенно в случае стабилитрона-делителя, имеющего несколько газовых промежутков, или в случае нескольких последовательно соединенных стабилитронов, часть которых может нести переменную нагрузку. При этом бывает необходимо знать, как влияют колебания тока нагрузки отдельных стабилитронов (промежутков) на величину полного стабилизованного напряжения.

Подобно тому как было установлено влияние изменений питающего напряжения на величину стабилизованного напряжения, при помощи эквивалентной схемы (рис. 12) может быть определено и влияние колебаний нагрузки. Изменение величины стабилизованного напряжения стабилитрона (газозового промежутка) при изменении тока его нагрузки на $\Delta I_н'$ приблизительно равно произведению величины этого изменения тока на внутреннее сопротивление нагружаемого стабилитрона (или стабилитронов) $r_{i\,ст}'$, являющегося как бы внутренним сопротивлением источника питания:

$$\Delta U_{ст}' \approx \Delta I_н' r_{i\,ст}'. \qquad (16)$$

Если несколько стабилитронов (газовых промежутков) несут изменяющуюся нагрузку, то влияние колебаний напряжений отдельных стабилитронов на напряжение соседних стабилитронов по аналогии с рассуждениями при выводе формулы (4) будет:

$$\Delta U_{ст}' \approx \Delta U_{ст}'' \frac{r_{i\,ст}'}{R_д}, \qquad (17)$$

т. е. изменение напряжения на отдельных стабилитронах (промежутках) вызывает у соседних стабилитронов изменение напряжения, уменьшенное в $R_д/r_{i\,ст}'$ раз.

Пример расчета. Рассчитаем двухкаскадную схему с повышенным коэффициентом стабилизации, изображенную на рис. 21 (см. стр. 34). Расчет будем вести, считая заданными величину напряжения питания $U_{пит} = 400$ *в*, ток нагрузки $I_н = 25$ *ма* и величину стабилизованного напряжения $U_{ст} = 150$ *в*. Исходя из этих условий, самым правильным будет выбор стабилитронов СГ3С и СГ4С. Минимальный ток обоих типов стабилитронов $I_{ст.\,мин} = 5$ *ма*, максимальный рабочий ток $I_{ст.\,макс} = 30$ *ма*, внутреннее сопротивление стабилитрона СГ3С $r_{i\,ст} = 80$ *ом* и СГ4С $r_{i\,ст} = 160$ *ом*.

Расчет ведем, начиная со второго (выходного) каскада стабилизации.

Напряжение питания второго каскада $U_{пит\,2} = 2 \cdot 105 = 210$ *в*.

Поскольку второй каскад питается напряжением, стабилизованным первым каскадом, можно ток стабилитрона этого каскада принять меньшим, чем $I_{ст.\,ср}$ (8 вместо 17 *ма*).

Согласно формуле (13) добавочное сопротивление второго каскада

$$R_{д2} = \frac{210 - 150}{0{,}025 + 0{,}008} = 1\,800 \text{ ом}.$$

Ток нагрузки первого каскада

$$I_{н1} = I_н + I_{ст\,2} = 0{,}025 + 0{,}008 = 0{,}033 \text{ а}.$$

Добавочное сопротивление первого каскада

$$R_{д1} = \frac{400 - 210}{0{,}033 + 0{,}017} = 3\,800 \text{ ом}.$$

Предельное изменение питающего напряжения, при котором еще будет обеспечиваться стабилизация, определяется первым каскадом, так как второй каскад стабилизации, питаемый уже стабилизованным, т. е. мало изменяющимся, напряжением будет недоиспользован в отношении пределов стабилизации, которые он может обеспечить.

Согласно формуле (9) предельное изменение питающего напряжения для первого каскада будет:

$$N = \frac{100\,(0{,}03 - 0{,}005)\,3\,800}{400} = 24\% \;(\pm 12\%).$$

При таком изменении питающего напряжения, т. е. при $\Delta U_{пит\%} = N$, процент колебаний стабилизованного напряжения первого каскада согласно формуле (6)

$$\Delta U_{ст1} = \Delta U_{пит\,2} = 24\,\frac{160}{3\,800} \cdot \frac{400}{210} = 1{,}9\%.$$

Процент колебаний стабилизованного напряжения второго каскада, т. е. напряжения на нагрузке, согласно той же формуле

$$\Delta U_{ст\,2} = 1{,}9\,\frac{160}{1\,800} \cdot \frac{210}{150} = 0{,}24\%.$$

Таким образом, рассчитанная схема обеспечивает изменение стабилизованного напряжения на 0,24% при колебаниях питающего напряжения на 24%. Согласно формуле (7) коэффициент стабилизации, даваемой этой схемой:

$$K_{ст} = \frac{24}{0{,}24} = 100,$$

т. е. влияние колебаний питающего напряжения ослабляется схемой в 100 раз.

СТАБИЛИЗОВАННЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Одним из наиболее важных и распространенных применений стабилитронов является использование их в различных схемах электронной стабилизации напряжения с отрицательной обратной связью. Одна из типичных схем таких стабилизаторов показана на рис. 18.

В этой схеме газовый стабилитрон *Ст* поддерживает постоянное («опорное») напряжение на катоде усилительной лампы $Л_1$ относительно общего минуса. Разность между этим напряжением и падением напряжения на сопротив-

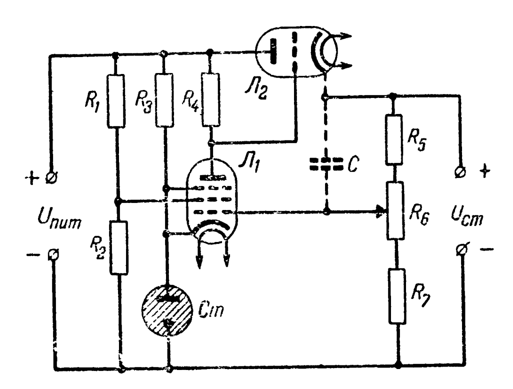


Рис. 18. Схема электронного стабилизатора напряжения.

лениях R_6 и R_7 представляет отрицательное смещение на сетке лампы $Л_1$. Увеличение выходного напряжения U_{cm} уменьшает это отрицательное смещение и повышает анодный ток лампы $Л_1$. Увеличение падения напряжения на сопротивлении R_4, возникающее в результате повышения анодного тока лампы $Л_1$, увеличивает отрицательное смещение на сетке лампы $Л_2$ и повышает внутреннее сопротивление этой лампы для постоянного тока. Так как внутреннее сопротивление лампы $Л_2$ «включено» между плюсом питающего и стабилизованного напряжения, то увеличение этого сопротивления снижает выходное напряжение, т. е. противодействует исходному изменению напряжения.

Таков механизм авторегулировки схемы, при помощи которой поддерживается постоянство выходного напряжения. Величина выходного напряжения может в некоторых пределах регулироваться потенциометром R_6. Конденсатор *C* способствует снижению пульсаций (фона). Из рассмотрен-

ного принципа работы схемы очевидно, что работа схемы немыслима без поддержания стабильного постоянного напряжения на катоде усилительной лампы $Л_1$. Это напряжение обеспечивается стабилитроном, который может быть заменен батареей.

Схемы с электронной стабилизацией дают весьма высокий коэффициент стабилизации, доходящий до 1 000 (с двухкаскадным усилителем), однако они существенно усложняют схему питающего устройства. Поэтому значительное распространение получило использование стабилитронов в качестве самостоятельного стабилизующего элемента. Такая стабилизация уступает электронной по коэффициенту

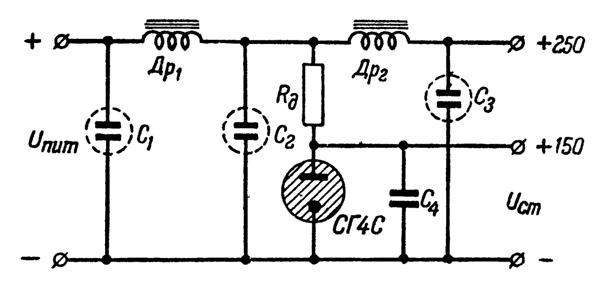


Рис. 19. Схема стабилизации для питания приемника.

стабилизации и допускаемой величине тока нагрузки, но зато в тех случаях, когда требуемый ток нагрузки обеспечивается стабилитроном, небольшое усложнение схемы питания из-за него является неплохой компенсацией меньшей стабилизации, чем с электронным стабилизатором. К тому же, применяя каскадную схему включения стабилитронов, можно резко повысить коэффициент стабилизации, приблизив его к величине, даваемой электронной стабилизацией.

В качестве типовой на рис. 19 приводится одна из простейших схем для питания приемника [1]. Она обеспечивает стабилизованное напряжение для питания гетеродина и цепей экранирующих сеток ламп при наличии нестабилизованного напряжения большей величины для питания остальных цепей приемника.

Подобные схемы питания часто употребляются в специальных радиовещательных приемниках и измерительной аппаратуре. В зависимости от необходимой величины стаби-

[1] В этой и последующих схемах мы опускаем выпрямительную часть.

лизованного напряжения выбирается тип стабилитрона (СГ2С, СГ3С или СГ4С), а это в свою очередь определяет величину добавочного сопротивления $R_д$. Первый дроссель фильтра $Др_1$ должен иметь небольшое сопротивление обмотки (около 50—100 *ом*), так как он является элементом связи между стабилизованной и нестабилизованной частями схемы. В связи с этим схема содержит второй дроссель $Др_2$, который с конденсатором C_3 образует дополнительный фильтр в цепи нестабилизованного напряжения. Конденсатор C_4 (порядка 1—2 *мкф*) служит для уменьшения внутреннего сопротивления источника стабилизованного напряжения на более высоких частотах.

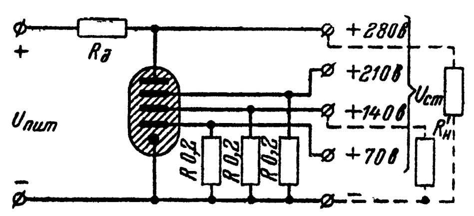


Рис. 20. Схема включения стабилитрона-делителя.

Другой типовой схемой является схема стабилизации со стабилитроном-делителем (рис. 20). В ней может быть использован стабилитрон (стабиливольт) типа STV-280/40, STV-280/80 или два соединенных последовательно STV-150/20. Схема обеспечивает одновременно четыре значения стабилизованного напряжения (70, 140, 210 и 280 *в*). При желании возможно присоединить к стабилизованному напряжению несколько нагрузок (на рис. 20 показаны две нагрузки), суммарный ток которых не должен превышать 40, 80 или 20 *ма* соответственно типу стабилитрона.

Сопротивления R по 0,2 *Мом* служат для облегчения зажигания стабилитрона. Если нет надобности в таком большом стабилизированном напряжении (280 *в*), то можно снизить как стабилизованное, так и питающее напряжения, замкнув часть промежутков (секций) стабилитрона. Замыкать промежутки нужно со стороны анодов (+280 *в*, +210 *в*), так как при этом исключаются внутренние электроды стабилитрона, допускающие меньшую нагрузку.

Если заземлить зажим с отметкой +70 *в*, то зажим с отметкой 0 может быть использован для подачи отрицательного смещения, которое может регулироваться потенциометром в 2 000—3 000 *ом*, включенным между зажимами 0

и +70 *в*. В этом случае максимальное анодное напряжение будет равно 210 *в*.

Добавочное сопротивление $R_д$ должно быть рассчитано по формуле (13) для конкретных величин нагрузки и питающего напряжения. Например, если для STV-280/40 $U_{пит}=420$ *в*, а нагрузка составляет 30 *ма*, то $R_д=2\,600$ *ом*. При отсутствии стабилитрона-делителя несколько стабилизованных напряжений могут быть получены последовательным включением двух или трех обычных стабилитронов, допускающих одинаковую нагрузку. Соединяя стабилитроны последовательно, следует обратить особое внимание на соблюдение полярности (анод одного из стабилитронов должен соединяться с катодом другого).

Двухкаскадная схема стабилизации. Эта схема дает значительное повышение стабильности благодаря тому, что питающее напряжение стабилизуется дважды: сначала первым каскадом, а затем вторым. Каскадное использование стабилитронов, давая очень высокий коэффициент стабилизации (равный произведению коэффициентов стабилизации первого и второго каскадов) снижает, однако, экономичность схемы и тем самым повышает стоимость стабилизации. Дополнительная потеря питающего напряжения в добавочном сопротивлении второго каскада приводит к тому, что стабилизованное напряжение оказывается в два — четыре раза меньше питающего.

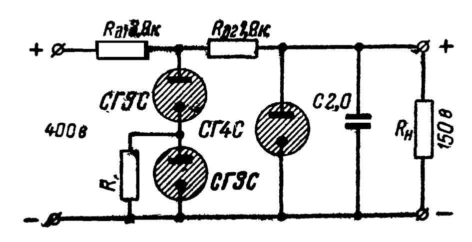


Рис. 21. Схема двухкаскадной стабилизации ($R=0{,}2$ *Мом*).

Следует отметить, что однокаскадная схема даже при таком большом превышении питающего напряжения над стабилизованным и, следовательно, при большой величине добавочного сопротивления не дает такой высокой стабильности, как двухкаскадная схема.

Двухкаскадная схема (рис. 21) (подробный расчет этой схемы дан на стр. 29), использующая три стабилитрона, дает 150 *в* стабилизованного напряжения и при напряжении

питания 400 *в* обеспечивает стабильность напряжения около 0,24% ($K_{ст}=100$) при колебаниях питающего напряжения на 24% (±12%). Для сравнения интересно отметить, что при тех же условиях обычная однокаскадная схема с одним стабилитроном СГ4С обеспечивает стабильность напряжения порядка 1,7%, т. е. в 7 раз меньшую ($K_{ст}=14$).

При употреблении двухкаскадных схем стабилизации ток, отбираемый нагрузкой, должен быть несколько меньше максимального (на величину тока через стабилитрон второго каскада) во избежание перегрузки стабилитрона первого каскада. При этом следует иметь в виду, что ток через стабилитрон второго каскада будет изменяться мало, так как напряжение питания второго каскада стабилизовано первым каскадом. Поэтому при расчете величины добавочного сопротивления второго каскада ток стабилитрона этого каскада следует полагать меньшим, чем $I_{ст. ср}$, и принимать его приблизительно равным $2I_{ст. мин}$, что позволит увеличить ток нагрузки.

Упрощенный электронный стабилизатор. Существует малоизвестная схема стабилизатора напряжения (рис. 22), представляющая собой некоторое упрощение приведенной выше схемы электронного стабилизатора. В этой схеме стабилизация осуществляется при помощи стабилитрона $Л_2$ (или нескольких стабилитронов в зависимости от величины напряжения), который используется в качестве управляющего элемента, изменяющего отрицательное смещение на сетке балластной (регулирующей) лампы $Л_1$ при изменениях величины входного (питающего) напряжения.

Схема действует следующим образом: всякое приращение выходного (стабилизованного) напряжения $U_{ст}$, вызванное колебанием питающего напряжения или колебанием нагрузки $R_н$, вследствие наличия стабилитрона $Л_2$ будет почти полностью падать на добавочном сопротивлении $R_д$, так как напряжение на стабилитроне почти постоянно. Тем самым почти вся величина приращения выходного напряжения подается на сетку балластной лампы $Л_1$, изменяя ее внутреннее сопротивление по постоянному току и вызывая обратное приращение напряжения $U_{ст}$, которое компенсирует исходное приращение и этим поддерживает постоянство выходного напряжения.

Достоинством описываемой схемы является то, что таким простым средством, как добавление балластной лампы,

устраняется лимитирование допускаемого тока нагрузки максимальным током стабилитронов, которые, как известно, выпускаются у нас для тока нагрузки не более 40 *ма.*

Определим при помощи схемы рис. 22 коэффициент стабилизации такого стабилизатора, представляющий собой отношение процентного изменения питающего напряжения

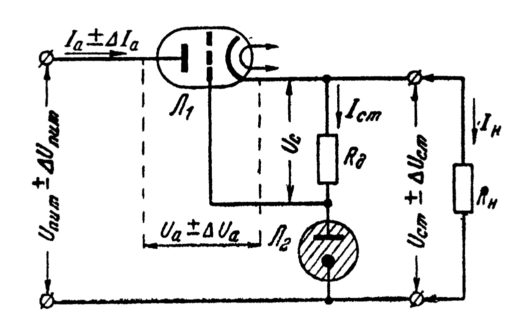


Рис. 22. Принципиальная схема упрощенного электронного стабилизатора напряжения.

к процентному же изменению стабилизованного напряжения, т. е.

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{пит\%}}{\Delta U_{ст\%}}.$$

Согласно схеме приращение стабилизованного напряжения $\Delta U_{ст}$ будет по закону Ома равно произведению приращения анодного тока ΔI_a на полное сопротивление нагрузки $R'_н$

$$\Delta U_{ст} = \Delta I_a R'_н.$$

Полным сопротивлением нагрузки будет результирующее сопротивление параллельно включенных сопротивлений внешней нагрузки стабилизатора (потребителя) $R_н$ и ветви стабилитрона (сопротивление последней равно $\frac{U_{ст}}{I_{ст}}$, т. е. выходному стабилизованному напряжению, деленному на ток через стабилитрон).

Таким образом, полное сопротивление нагрузки

$$R_н' = \frac{R_н \frac{U_{ст}}{I_{ст}}}{R_н + \frac{U_{ст}}{I_{ст}}} = \frac{U_{ст}}{I_a}. \qquad (18)$$

Поскольку описываемый стабилизатор имеет смысл использовать для токов нагрузки более 60—100 *ма*, то ток через стабилитрон будет по крайней мере в 5—10 раз меньше тока во внешней нагрузке, т. е. $I_{ст} \ll I_a$, а поэтому можно пренебречь сопротивлением ветви стабилитрона и считать, что $I_н \approx I_a$ и $R_н' \approx R_н$, т. е. полное сопротивление нагрузки стабилизатора приблизительно равно сопротивлению внешней нагрузки. Отсюда следует, что

$$\Delta U_{ст} \approx \Delta I_a R_н. \qquad (19)$$

Из той же схемы рис. 22 видно, что приращение стабилизованного напряжения, вызванное изменением входного питающего напряжения $\Delta U_{пит}$, будет:

$$\Delta U_{ст} = \Delta U_{пит} - \Delta U_a, \qquad (20)$$

так как приращение напряжения питания делится между балластной лампой $Л_1$ и сопротивлением нагрузки стабилизатора $R_н$.

Так как балластная лампа представляет собой усилитель с нагрузкой в катоде (катодный повторитель), можно использовать выражение для приращения анодного тока усилительной лампы:

$$\Delta i_a = S \Delta e_c - \frac{\Delta e_a}{R_i}, \qquad (21)$$

где S — крутизна, а R_i — внутреннее сопротивление лампы. Здесь первый член правой части выражения учитывает изменение анодного тока вследствие изменения напряжения на сетке лампы, а второй член — изменение анодного тока за счет изменения напряжения на аноде лампы.

Считая напряжение на стабилитроне неизменным, вследствие чего все приращения стабилизованного (выходного) напряжения $\Delta U_{ст}$ будут подаваться на сетку лампы $Л_1$, можем полагать для схемы рис. 22 и наших обозначений $\Delta e_c = \Delta U_{ст}$, $\Delta i_a = \Delta I$ и $\Delta e_a = \Delta U_a$.

Зная, что у любой усилительной лампы коэффициент усиления $\mu = SR_i$ $\left(\text{откуда } S = \frac{\mu}{R_i}\right)$, вводя в уравнение (21) наши обозначения и подставив значение ΔU_a из выражения (20), получим:

$$\Delta I_a = \frac{\mu}{R_i}\Delta U_{cm} - \frac{1}{R_i}(\Delta U_{num} - \Delta U_{cm}),$$

а, подставив значение ΔI_a в выражение (19), найдем:

$$\Delta U_{cm} = \frac{R_н}{R_i}\mu\Delta U_{cm} - \frac{R_н}{R_i}(\Delta U_{num} - \Delta U_{cm})$$

и после преобразования получим:

$$\frac{\Delta U_{num}}{\Delta U_{cm}} = \mu + 1 - \frac{R_i}{R_н}. \qquad (22)$$

Выразим теперь приращения питающего и стабилизованного напряжения в процентах:

$$\Delta U_{num\%} = \frac{\Delta U_{num}100}{U_{num}} \text{ и } \Delta U_{cm\%} = \frac{\Delta U_{cm}100}{U_{cm}},$$

и, найдя из этих выражений, что

$$\Delta U_{num} = \frac{\Delta U_{num\%}U_{num}}{100} \text{ и } \Delta U_{cm} = \frac{\Delta U_{cm\%}U_{cm}}{100},$$

подставим эти значения в формулу (22), после чего искомый коэффициент стабилизации будет:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{num\%}}{\Delta U_{cm\%}} \approx \frac{U_{cm}}{U_{num}}\left(1 + \mu - \frac{R_i}{R_н}\right). \qquad (23)$$

Представляет также интерес определить внутреннее сопротивление стабилизатора, которое в данном случае равно внутреннему сопротивлению балластной лампы с учетом действия отрицательной обратной связи, т. е.

$$r_{i\,cm} \approx \frac{R_i}{1+\mu}. \qquad (24)$$

Таким образом, как повышение коэффициента стабилизации, так и уменьшение внутреннего сопротивления стабилизатора возможно только применением балластной лампы с бо́льшим коэффициентом усиления и меньшим внутренним сопротивлением.

Анализ формул (23) и (24) показывает, что в упрощенном электронном стабилизаторе в качестве балластной лампы более целесообразно вместо триода использовать выходной пентод или тетрод, которые, обладая значительным коэффициентом усиления, позволяют получить коэффициент стабилизации $K_{ст} = 20 \div 100$ (в зависимости от параметров балластной лампы) при незначительном увеличении внутреннего сопротивления стабилизатора. Однако применение пентода или тетрода требует отдельного источника напряжения (желательно стабилизованного) для питания экранирующей сетки такой лампы, правда, с ничтожным потреблением тока (5—8 *ма*).

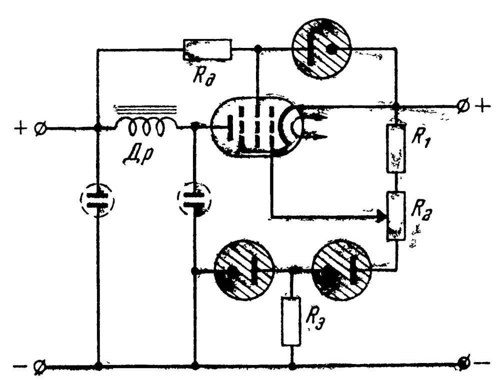


Рис. 23. Схема питания экранирующей сетки балластной лампы от общего источника.

Следует указать, что можно избавиться от необходимости в отдельном источнике напряжения для питания экранирующей сетки балластной лампы. Для этого на экранирующую сетку подается напряжение, падающее на балластной лампе. и напряжение, которое падает на дросселе выпрямителя, от которого берется напряжение для стабилизации (рис. 23). Однако предлагаемый способ питания экранирующей сетки лампы может быть осуществлен только при включении между ее экранирующей сеткой и катодом стабилитрона на напряжение 150—250 *в*, которое находится в зависимости от величины напряжений, падающих на балластной лампе и дросселе (последнее должно составлять 50—100 *в*). Стабилитрон обеспечивает постоянство экранного напряжения и сглаживает пульсации.

В упрощенном электронном стабилизаторе величина требующегося для балластной лампы $Л_1$ отрицательного сме-

щения $-U_c$ должна быть разностью между необходимым выходным стабилизованным напряжением и рабочим (номинальным) напряжением стабилитрона $Л_2$.

Выполнение этого условия несколько ограничивает возможность получения любых величин стабилизованного напряжения вследствие того, что минимальная разница в рабочих напряжениях между выпускаемыми стабилитронами (СГ3С и СГ2С) составляет 30 *в*. Однако можно изменять (в очень небольших пределах) стабилизованное напряжение, применив для этого переменное добавочное сопротивление $R_д$ и немного изменяя положением его ползунка отрицательное смещение балластной лампы (подобно тому, как это показано на схемах рис. 24). Этим же обеспечивается возможность несколько скомпенсировать допускаемый разброс величины рабочего напряжения стабилитронов.

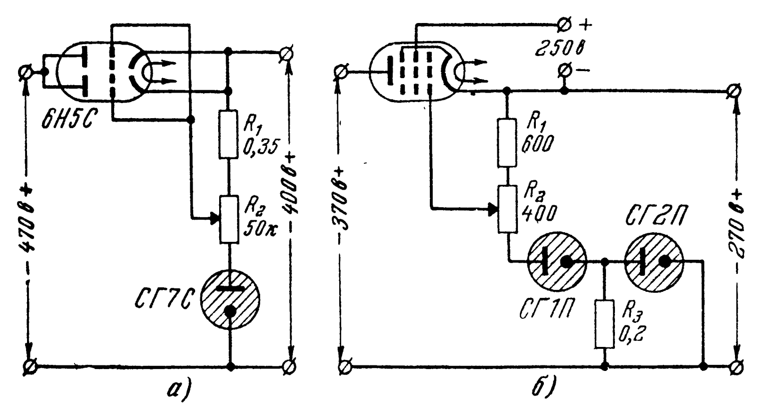


Рис. 24. Схемы упрощенного электронного стабилизатора напряжения.

Пример расчета. Рассчитаем схему стабилизатора (рис. 24, *а*), который должен обеспечивать стабилизованное напряжение $U_{ст} = 400$ *в* при токе через нагрузку $I_н = 150$ *ма* ($R_н \approx 2\,700$ *ом*).

Выбираем для балластной лампы двойной триод 6Н5С, обладающий при двух соединенных параллельно триодах наименьшим среди других ламп внутренним сопротивлением ($R_i \leqslant 230$ *ом*; $\mu = 3$). По семейству анодных характеристик этой лампы (для одного триода), приведенных на рис. 25, определяем анодное напряжение и отрицательное смещение на сетку лампы при анодном токе в 75 *ма* через каждый триод. Пунктирная кривая, пересекающая семейство анодных характеристик, указывает максимальную мощность рассеяния на аноде; выше этой кривой лампу нельзя использовать

Из анодных характеристик рис. 25 видно, что анодному току в 75 *ма* могут соответствовать несколько режимов при анодных напряжениях $U_a = 50 \div 90$ *в* и отрицательных смещениях $U_c = 10 \div 30$ *в*. Поэтому, прежде чем выбрать какой-либо режим, прикинем тип стабилитрона, зная, что на нем должно падать напряжение:

$$U = U_{cm} - U_c = 400 - (10 \div 30) = 390 \div 370 \text{ в.}$$

Для такого напряжения можно применить три стабилитрона (два СГ4С и один СГ2С), но целесообразнее использовать стабилитрон коронного разряда СГ7С, номинальное напряжение которого $U = 380$ *в*

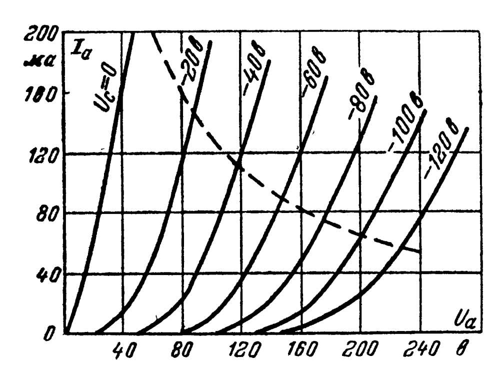


Рис. 25. Семейство анодных характеристик триода 6Н5С.

и $I \approx 50$ *мка*. Тогда на сеточное смещение остается 20 *в*. При таком смещении и токе в 75 *ма* анодное напряжение балластной лампы $U_a = 70$ *в* и питающее (входное) напряжение

$$U_{num} = U_a + U_{cm} = 70 + 400 = 470 \text{ в.}$$

Добавочное сопротивление к стабилитрону (учитывая, что он не нагружен)

$$R_\partial = \frac{U_{cm} - U}{I} = \frac{400 - 380}{0{,}00005} = 400\,000 \text{ ом} = 0{,}4 \text{ Мом.}$$

Для обеспечения возможности небольшой регулировки напряжения смещения составляем R_∂ из постоянного сопротивления в 0,35 *Мом* и переменного сопротивления в 50 *ком*.

Согласно формуле (23) коэффициент стабилизации рассчитанного стабилизатора

$$K_{cm} \approx \left(1 + 3 - \frac{230}{2\,700}\right) \frac{400}{470} \approx 3,$$

а внутреннее сопротивление согласно формуле (24)

$$r_{i\,cm} \approx \frac{230}{1 + 3} \approx 60 \text{ ом.}$$

Для выявления эффективности применения в упрощенном стабилизаторе выходного пентода или тетрода в качестве балластной лампы рассчитаем схему, показанную на рис. 24, *б*. Эта схема позволяет получить около 270 *в* при токе нагрузки до 90 *ма* ($R_н = 3$ *ком*).

Порядок расчета аналогичен предыдущему. Выбираем для балластной лампы пентод, обладающий высоким коэффициентом усиления ($\mu = 500$ и $R_i = 50$ *ком*), и из семейства анодных характеристик устанавливаем, что при экранном напряжении 250 *в*, анодном токе 90 *ма* и смещении на управляющую сетку порядка — 8 *в* анодное напряжение должно быть около 100 *в*.

Выберем тип стабилитронов, исходя из того, что на них должно падать напряжение

$$U = U_{ст} - U_c = 270 - 10 = 260 \text{ в}.$$

Для такого напряжения подходят два последовательно соединенных стабилитрона СГ1П и СГ2П или СГ4С и СГ3С. Для облегчения их зажигания при пониженном напряжении следует применить сопротивление R_3 и включить стабилитроны, как показано на рис. 24,*б*, т. е. со стороны общего минуса включить стабилитрон с меньшим зажигающим напряжением (СГ2П).

Добавочное сопротивление к стабилитронам (учитывая, что они не нагружены и ток через них составляет $I = 17$ *ма*)

$$R_д = \frac{U_{ст} - U}{I} = \frac{270 - 255}{0{,}017} \approx 900 \text{ ом}.$$

Для регулировки отрицательного смещения балластной лампы составляем $R_д$ из постоянного сопротивления R_1 и переменного R_2.

Питающее (входное) напряжение

$$U_{пит} = U_a + U_{ст} = 100 + 270 = 370 \text{ в}.$$

Коэффициент стабилизации

$$K_{ст} \approx \left(1 + 500 - \frac{50\,000}{3\,000}\right) \frac{270}{370} \approx 350,$$

а внутреннее сопротивление

$$r_{i\,ст} \approx \frac{50\,000}{1 + 500} \approx 100 \text{ ом}.$$

На практике, однако, коэффициент стабилизации получается существенно меньшим (примерно $0{,}35 \div 0{,}5\ K_{ст}$), что обусловливается допущениями, сделанными при выводе формулы (23), т. е. пренебрежением изменением напряжения на стабилитронах и потребляемым ими током.

Кроме того, следует иметь в виду, что коэффициент стабилизации зависит от того, какая часть падающего на добавочных сопротивлениях R_1 и R_2 напряжения подается на сетку балластной лампы в качестве отрицательного смещения. Формула (23) справедлива при подаче на сетку всего напряжения. Если же подается только часть напряжения, то коэффициент стабилизации уменьшится во столько раз, во сколько сеточное смещение меньше всего напряжения на добавочных сопротивлениях.

Значительное влияние на коэффициент стабилизации оказывает постоянство напряжения на экранирующей сетке балластной лампы. При нестабилизованном напряжении этот коэффициент уменьшается примерно вдвое.

Таким образом, реальный коэффициент стабилизации, даваемый стабилизатором схемы рис. 24,*б*, при постоянном напряжении на экранирующей сетке лампы будет $K_{cm} \approx 150$, а при нестабилизованном $K_{cm} \approx 60$. Но даже и эти уменьшенные значения коэффициента стабилизации много больше, чем могут дать только стабилитроны, и близки к тем, которые обеспечивает электронный стабилизатор с усилительной лампой и триодом в качестве балластной лампы.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ АВТОТРАНСФОРМАТОРА

Описываемый переключатель[1] производит автоматическое переключение секций обмотки автотрансформатора, от которого может питаться радиоприемник или телевизор, и тем самым дает возможность освободиться от неудобств ручной регулировки напряжения.

Для обеспечения надежного действия реле в их цепь включен стабилитрон, вольт-амперная характеристика которого обладает большой крутизной (порядка 7—14 *ма/в*).

При наличии стабилитрона небольшие изменения питающего напряжения (на 5—10%) вызывают значительные (на 200—300%) изменения тока, проходящего через стабилитрон и включенные последовательно с ним обмотки реле. Такие резкие изменения тока вполне обеспечивают надежность действия электромагнитных реле.

Полная принципиальная схема переключателя приведена на рис. 26. Стабилитрон СГЗС и обмотки реле P_1 и P_2 питаются выпрямленным напряжением, поступающим от выпрямителя *В* (15 селеновых дисков диаметром 18 *мм*, два последовательно соединенных полупроводниковых диода ДГ-Ц24 или диод ДГ-Ц27). Электролитический конденсатор *С* (типа КЭ-1 на рабочее напряжение 300 *в*) служит для сглаживания выпрямленного напряжения (при несглаженном напряжении будут дребезжать притянутые якори реле).

При помощи делителя, образуемого сопротивлениями *R* и R_1, устанавливается нужный уровень напряжения, подводимого к стабилитрону СГЗС. Величина этих сопротивлений подбирается с таким расчетом, чтобы стабилитрон полностью погасал при питающем напряжении переменного

[1] Разработан автором совместно с А. Г. Дольником.

тока около 100 *в*. Если применяется селеновый выпрямитель, то сопротивление R не требуется и напряжение устанавливается только величиной сопротивления R_1 (порядка 5—10 *ком* и мощностью рассеяния 5 *вт*).

Сопротивление R_2 шунтирует обмотку реле P_2. Благодаря этому срабатывание реле P_2 происходит при большем токе через стабилитрон. Необходимо это потому, что реле P_2 должно срабатывать лишь после того, когда сработает реле P_1.

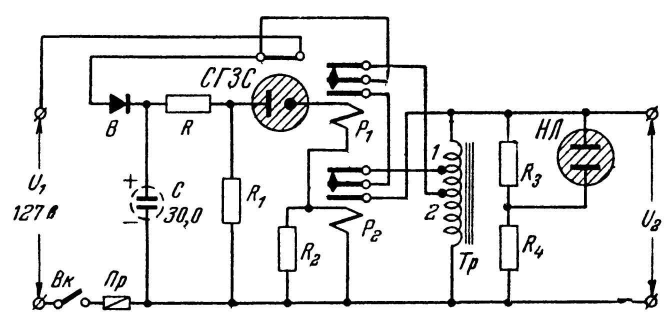


Рис. 26. Схема автоматического переключателя автотрансформатора.

Неоновая лампа НЛ вместе с сопротивлениями R_3 и R_4 образуют индикатор максимального напряжения (ниже), который в случае порчи автоматического переключателя (например, при выходе из строя стабилитрона) сигнализирует о превышении напряжения на нагрузке. Последнее может произойти потому, что если стабилитрон выйдет из строя, то реле выключатся и одновременно с этим переключат автотрансформатор на минимальное напряжение электросети.

В автоматическом переключателе применяются готовые заводские реле типа РКМ. Сопротивление обмотки такого реле постоянному току составляет около 600 *ом* (может быть увеличено до 1 000 *ом*). Каждое реле должно иметь по одному перекидному контакту и должно быть отрегулировано так, чтобы при переключении этот контакт не соприкасался одновременно с обоими неподвижными контактами реле, так как иначе при переключениях будут замыкаться накоротко секции обмотки автотрансформатора.

Некоторые типы реле имеют по два подвижных (перекидных) и по два неподвижных контакта. У таких реле надо оба подвижных контакта соединить между собой. Если

будут применяться реле, имеющие двойное число контактов, то каждый дополнительный контакт надо соединить накоротко с аналогичным основным контактом реле. Это снизит износ контактов и повысит надежность работы реле.

Качество работы ступенчатого переключателя зависит главным образом от четкости и надежности действия его реле. Реле P_1 должно срабатывать при токе 7 *ма*, что соответствует напряжению сети переменного тока около 100 *в*, а реле P_2 — только при токе 22 *ма* через стабилитрон СГ3С, что соответствует напряжению сети приблизительно 117 *в*. Если реле P_1 будет срабатывать при токе через стабилитрон, значительно меньшем 7 *ма*, то необходимо его обмотку, как и у реле P_2, зашунтировать сопротивлением, величина которого точно подбирается опытным путем. Величина сопротивления R_2, шунтирующего реле P_2, выбирается соответственно чувствительности последнего. В случае применения однотипных реле P_1 и P_2 сопротивление R_2 может быть выбрано в пределах 500—1 000 *ом*. Во всех случаях важно, чтобы ток размыкания (отпускания) реле составлял не меньше 70% от тока срабатывания.

Выбранные для переключателя реле предварительно надо испытать (а если понадобиться, и отрегулировать их путем отгибания контактных пружин) и точно проверить их токи срабатывания и отпускания. Для этой цели собирается последовательная цепь из батареи (или выпрямителя) с напряжением 20—50 *в*, переменного сопротивления порядка 10—15 *ком*, миллиамперметра на 25—30 *ма* и испытуемого реле. В этой же схеме подбирается и шунтирующее сопротивление R_2.

Реле следует подбирать не только по чувствительности, т. е. по току срабатывания, но и по способности контактов пропускать и разрывать необходимой величины ток, определяемый нагрузкой автотрансформатора. Надо учитывать, что чем чувствительнее реле, тем меньшую мощность способны разрывать его контакты. Поэтому в переключателях, предназначенных для более мощных потребителей тока, кроме основных (чувствительных) применяют еще дополнительные реле, снабженные контактами, рассчитанными на сравнительно большую разрывную мощность. При помощи последних и осуществляется переключение отводов обмотки автотрансформатора. Основные же реле служат лишь для включения и выключения обмоток дополнительных реле.

Автотрансформатор *Тр* может быть отедльным элементом, устанавливаемым в переключателе, однако возможно

использовать силовой трансформатор приемника, если его первичная обмотка имеет соответствующие отводы. Эти отводы должны обеспечивать коэффициент трансформации для отвода *1*, равный 1,17, и для отвода *2* — 1,37. Коэффициент трансформации представляет собой отношение числа витков всей обмотки автотрансформатора к числу витков той ее части, которая заключена между данным отводом и концом обмотки, соединенным электросетью (нижний конец на схеме рис. 26).

Регулирующие свойства переключателя иллюстрируются кривыми на рис. 27, которые показывают пределы изменения переменного напряжения на нагрузке готового автотрансорматора с отводами для 90, 110 и 127 *в* в зависимости от изменений напряжения U_1 электросети как в сторону повышения (сплошные линии), так и понижения (штриховые линии) напряжения. Из этих кривых видно, что при изменении напряжения электросети от 80 до 130 *в* напряжение на нагрузке (потребителе) остается в пределах 110—130 *в* (сплошная кривая), т. е. отклонения от номинала в 120 *в* не превышают ±10 *в*.

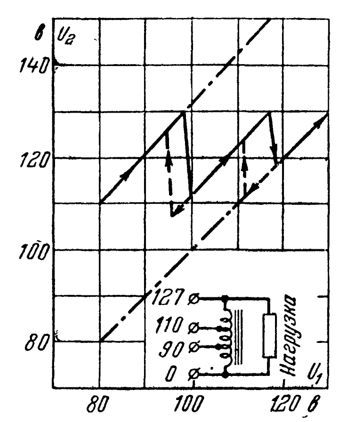


Рис. 27. График, характеризующий действие автоматического переключателя при изменениях напряжения электросети.

Продолжения сплошных линий (штрих с точкой) на графике рис. 27 показывают, как изменялось бы напряжение на нагрузке без автоматического переключателя при наличии повышающего автотрансформатора (продолжение линии вверху) и без него (продолжение линии внизу).

Для использования автоматического переключателя при напряжении электросети 220 *в* следует включить делитель RR_1 до выпрямителя B, увеличив R до 2—3 *ком* и уменьшив R_1 до 2—5 *ком*. Возможно также, сохранив схему рис. 26 без изменений, увеличить число дисков селенового выпрямителя (до 27 шт.) или германиевых диодов ДГ-Ц24 (до 3 шт.), сопротивление R до 5—10 *ком*, а конденсатор C использовать для рабочего напряжения 450 *в*. Рекомендуется при использовании диодов ДГ-Ц24 зашунтировать

каждый из них сопротивлением порядка 100 *ком* (для равномерного распределения между ними обратного напряжения).

Необходимо иметь в виду, что недостатком работы всяких релейных схем является то, что на границе срабатывания или отпускания реле (при медленном изменении тока) их якори начинают вибрировать и дребезжать, что нарушает надежность соединений, даваемых контактами реле. Но так как напряжение в электросети обычно изменяется не плавно, а скачками, то в этих условиях реле работают достаточно стабильно и надежно. В редких случаях реле все же может оказаться в неустойчивом состоянии, которое легко устраняется кратковременным (на мгновение) отключением автоматического переключателя от электросети.

ИНДИКАТОР СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Предлагаемый способ определения величины напряжения, регулируемого автотрансформатором, на приемнике или телевизоре является простейшим потому, что не требует электроизмерительного прибора (вольтметра) и вследствие того, что пользование описываемым индикатором проще, чем другими.

В работе индикатора используется свойство ламп тлеющего разряда зажигаться и потухать при определенном значении напряжения.

Как видно из схемы рис. 28, индикатор состоит всего из двух сигнальных неоновых ламп. Одна из ламп ($Л_1$) сигнализирует о минимальном напряжении, а другая ($Л_2$) — о максимально допустимом напряжении. Эти напряжения определяются как —10% и +5% от номинальной величины напряжения электросети.

С этой целью делителем R_1R_2 на лампе $Л_1$ устанавливается напряжение, при котором она должна потухать, если напряжение на потребителе (сети) будет меньше минимально допустимого (т. е. меньше 114 или 196 *в*); делителем R_3R_4 устанавливается напряжение на лампе $Л_2$, зажигающее ее при напряжении на ней выше предельно допустимого (т. е. более 133 или 231 *в*).

В индикаторе можно использовать неоновые сигнальные лампы или стабилитроны, напряжение зажигания которых отличается от напряжения потухания не более чем на 5—8%. Напряжение зажигания лампы $Л_1$ не должно быть больше 100—110 *в*, а лампы $Л_2$ — больше 125 *в*.

Неоновые лампы со значительно отличающимися напря-

жениями зажигания и потухания (например, МН-3 или МН-5) можно тоже использовать, включив последовательно с каждой из ламп сопротивление в 0,25—0,3 *Мом.* Эти сопротивления, показанные на рис. 28 пунктиром (R_5 и R_6), обеспечивают значительное уменьшение разницы в напряжениях, но при этом несколько снижается яркость свечения ламп. Величины остальных сопротивлений, показанных на рис. 28, рассчитаны для ламп МН-8. В случае напряжения сети в 220 *в* (при тех же лампах МН-8) следует увеличить сопротивления R_1 (до 130 *ком*) и R_3 (до 150 *ком*). Регулировка индикатора сильно упрощается, если вместо сопро-

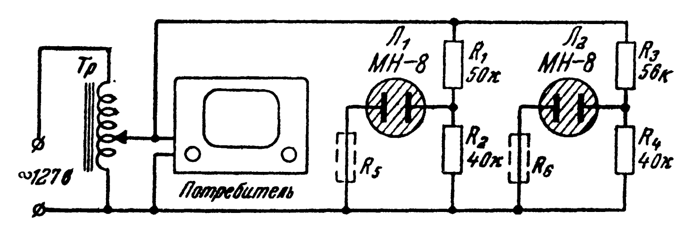


Рис. 28. Схема индикатора сетевого напряжения.

тивлений R_1 и R_2, а также R_3 и R_4 применить два переменных сопротивления по 80—120 *ком.*

Пользование индикатором весьма простое. Нормальным напряжением питания потребителя будет такое, при котором горит лампа $Л_1$. Если она погаснет, то необходимо поднять напряжение до ее зажигания. Лампа $Л_2$ при нормальной работе потребителя не должна гореть. Зажигание этой лампы указывает на необходимость уменьшения напряжения сети до ее потухания. Правило пользования индикатором таково: когда не горит ни одна лампа, надо прибавлять напряжение, а когда загораются обе лампы, напряжение надо убавлять.

ИМПУЛЬСНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Генератор пилообразных импульсов. Свойство газоразрядной лампы зажигаться и потухать при определенном напряжении позволяет сделать простой релаксационный генератор пилообразных импульсов.

Схема такого генератора приведена на рис. 29.

Напряжение питания заряжает конденсатор *С* через сопротивление *R*. Как только напряжение на конденсаторе достигает величины напряжения зажигания лампы *Л*, при-

соединенной параллельно конденсатору, происходит ее зажитание и конденсатор разряжается через лампу и последовательно включенное защитное сопротивление $R_з$, назначением которого является ограничение разрядного тока через лампу. Поскольку сопротивление лампы и защитное сопротивление малы, происходит очень быстрый разряд конденсатора до напряжения потухания лампы, после чего разряд прекращается и снова начинается заряд конденсатора.

Напряжение на конденсаторе C периодически колеблется между величинами напряжений зажигания и потухания лампы $Л$, в качестве которой с одинаковым успехом может быть использована либо сигнальная лампа (например, МН-3), либо стабилитрон (например, СГЗС). Частота колебаний определяется напряжением $U_{пит}$ и напряжениями зажигания и потухания лампы $Л$, а также величиной сопротивления R и емкостью конденсатора C; величина защитного сопротивления $R_з$ (равная нескольким сотням ом) мало влияет на частоту колебаний.

Форма колебательного напряжения на конденсаторе — пилообразная, не совсем правильной формы. Частота колебаний, которую можно получить от такого генератора, лежит в пределах приблизительно от 0,01 *гц* до 8 *кгц*; устойчивость частоты колебаний не очень велика. В зависимости от требующейся частоты колебаний сопротивление R выбирается в пределах 0,1—5 *Мом*, а емкость конденсатора C (с бумажной изоляцией) — в пределах 0,05—5 *мкф*.

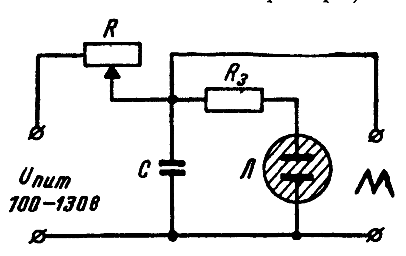


Рис. 29. Схема генератора пилообразных импульсов.

Генератор П-образных импульсов (замыкатель)[1]. Используя принцип релаксационного генератора с газоразрядной лампой и введя в схему электромагнитное реле с двумя одинаковыми обмотками, можно сделать симметричный замыкатель. Такое устройство способно давать поочередное замыкание двух пар контактов с частотой приблизительно от 0,01 до 25 *гц* (верхний частотный предел определяется скоростью срабатывания реле). Если последовательно с подвижным контактом реле включить постоянное напря-

[1] Разработан автором совместно с А. В. Ивановым.

жение, то можно получить П-образные импульсы вышеуказанной частоты.

Схема генератора-замыкателя приведена на рис. 30. Это устройство представляет собой сдвоенный генератор пилообразных импульсов, у которого вместо защитного сопротивления включены две половины обмоток двух поляризованных реле P_1 и P_2 сопротивлением около 1 200 *ом* каждая. Потребность в двух реле вызвана необходимостью в контактах *3* и *4* для замыкания внешней цепи, так как поляризованное реле имеет только две пары контактов, используемых для работы устройства. Сдвоенный генератор

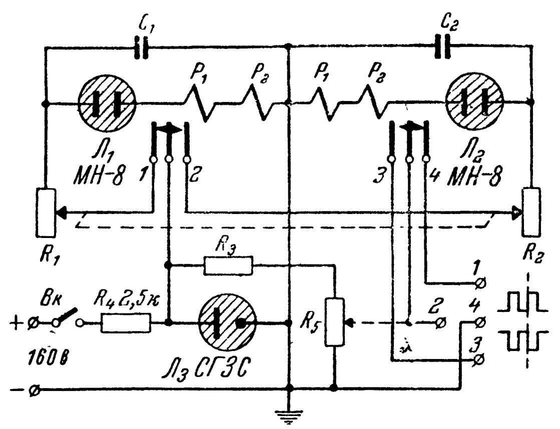


Рис. 30. Схема генератора П-образных импульсов.

употребляется для обеспечения приблизительно равной продолжительности замыкания контактов *3* и *4*, т. е. для создания симметричных импульсов, у которых длительность импульса равна его паузе. Для этой же цели применяется сдвоенное переменное сопротивление (R_1 и R), что позволяет одновременно менять частоту каждого из сдвоенных генераторов.

При замыкании выключателя *Вк* напряжение питания подается через сопротивление R_1 или R_2 на конденсатор C_1 или C_2 в зависимости от того, какая пара контактов (*1* или *2*) реле P_1 замкнута в начальный момент времени. Конденсатор начинает заряжаться и, достигнув напряжения зажигания неоновой лампы $Л_1$ или $Л_2$, разряжается через нее и половины обмоток обоих реле, которые при этом срабатывают и перекидывают контакты. Тогда включается на заряд другой конденсатор, который, зарядившись до напряжения

зажигания другой сигнальной лампы, разряжается, заставляя сработать реле в другую сторону, т. е. вернуться к исходному положению, и т. д.

Частота замыканий генератора определяется величиной питающего напряжения, напряжением зажигания сигнальных ламп $Л_1$ и $Л_2$, емкостью конденсаторов C_1 и C_2 и величинами сопротивлений R_1 и R_2. Для устранения влияния питающего напряжения оно стабилизуется стабилитроном $Л_3$; сопротивление R_4 служит добавочным сопротивлением к стабилитрону. В зависимости от желаемой частоты замыкания (импульсов) конденсаторы C_1 и C_2 (бумажные) выбирают от 0,5 до 10 *мкф*, а сдвоенное сопротивление R_1R_2 типа СП-2 — порядка 0,05—5 *Мом*. Можно указать, что для частоты 1—15 *гц* используют конденсаторы C_1 и C_2 по 2 *мкф*, а сопротивления R_1 и R_2 — по 0,25 *Мом*.

Следует иметь в виду, что для обеспечения симметрии работы генераторов конденсаторы C_1 и C_2 должны быть одинаковой емкости, а лампы $Л_1$ и $Л_2$ с равным напряжением зажигания. Необходимо обратить внимание на соединение между собой половин обмоток каждого реле: они должны соединяться в одну сторону, т. е. конец одной половины обмотки с началом другой. Амплитуда импульсов регулируется переменным сопротивлением R_5 (5—10 *ком*), которое вместе с сопротивлением R_3 образует делитель; в зависимости от требуемой амплитуды импульса R_3 берется от 50 до 100 *ком*. При желании импульсы могут иметь заполнение звуковой частотой или радиочастотой (не слишком высокой из-за влияния емкости между контактами реле). Для этого напряжение от постороннего генератора подводится к зажимам *2* и *4*, а провод, идущий к ползунку сопротивления R_5 (показан пунктиром), отключается.

РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Некоторую модификацию генератора-замыкателя представляет собой реле времени, широко используемое для фотопечати, освещения и автоматического управления механизмами.

Схема такого реле времени показана на рис. 31. При нажатии кнопки *К* срабатывает электромагнитное реле P_2 и замыкает три пары контактов (*3*, *4* и *5*). Контакты *3* служат для автоблокировки реле P_2, контакты *5* включают осветительную лампу *Л* или какой-либо механизм, а контакты *4* подают через переменное сопротивление R_1 напряжение питания на конденсатор C_1. Конденсатор заряжается

до напряжения зажигания неоновой лампы *НЛ*, а затем разряжается через нее и последовательно соединенное реле P_1. Последнее срабатывает, замыкает контакты *1*, доразряжающие конденсатор C_1, и размыкает контакты *2*, прекращая ток в обмотке реле P_2. Вслед за этим разрываются пары контактов *3*, *4* и *5*, гаснет осветительная лампа *Л* и устройство возвращается к исходному положению.

В отличие от других опубликованных подобных схем описываемая схема не требует механической связи между кнопкой *К* и якорем реле P_2, что существенно облегчает изготовление прибора.

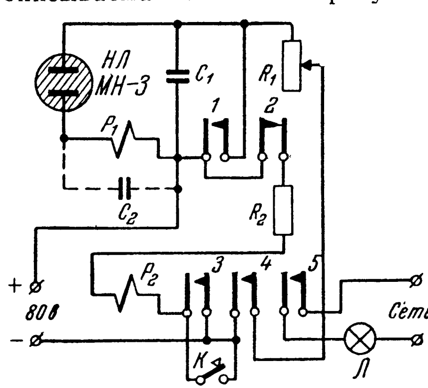


Рис. 31. Схема реле времени.

Из принципа работы схемы следует, что осветительная лампа *Л* горит до тех пор, пока конденсатор C_1 заряжается до напряжения зажигания лампы *НЛ*. Поэтому продолжительность горения лампы *Л* (экспозиция) может регулироваться величиной сопротивления R_1. В частном случае для экспозиций в 1—15 *сек* емкость конденсатора C_1 должна быть порядка 10 *мкф*, а величина сопротивления R_1 — около 2 *Мом*.

Сопротивление R_2 является добавочным к реле P_2 и уменьшает ток через его обмотку; в зависимости от чувствительности (тока срабатывания) и сопротивления обмотки этого реле оно может быть от 5 до 10 *ком* на мощность 1—2 *вт*.

Необходимо иметь в виду, что разрывная мощность контактов *5* реле P_2 должна соответствовать мощности осветительной лампы или включаемого механизма.

Конденсатор C_2, показанный на рис. 31 пунктиром, предназначен для увеличения инерционности реле P_1 с тем, чтобы при кратковременном разрыве контактов *2*, которыми обесточивается реле P_2, последнее успело «разблокироваться». Если этого не произойдет, то устройство не будет работать. Таким образом, реле P_1 должно срабатывать и отпускать «медленнее», чем P_2.

Реле P_1 и P_2 могут быть любого типа; P_1 должно срабатывать при токе 3—8 *ма*, а чувствительность реле P_2 не имеет существенного значения. В зависимости от требующейся задержки и сопротивления обмотки реле P_1 конденсатор C_2 берется порядка 0,5—2 *мкф*.

СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ ТАХОМЕТР

Незначительная инерция свечения газоразрядных ламп, обусловленная быстротой возникновения и потухания разряда, дает возможность создать индикатор числа оборотов (тахометр), используя стробоскопический эффект (кажущееся слияние ряда последовательных, быстро следующих кратковременных изображений какого-либо движения объекта в изображение его движения или состояния покоя).

Стробоскопический эффект основан на способности сохранять в течение долей секунды (около $^1/_{16}$ *сек*) зрительное возбуждение в виде образа. Эта способность кратковременного запоминания картины позволяет составить отдельные последовательно появляющиеся изображения (кадры) в одну непрерывную картину (неподвижную или движущуюся).

Если, например, на диске, вращаемом со скоростью 1 000 *об/мин*, нанести черту, то, будучи совершенно невидимой при непрерывном освещении, эта черта становится ясно видимой при прерывистом освещении, частота вспышек которого равна числу оборотов диска или в кратное число раз меньше, например 250 или 500. Происходит это потому, что световая вспышка освещает диск всегда в одном и том же положении черты при каждом обороте диска, если дается 1 000 вспышек, и через четыре или два оборота при 250 или 500 вспышках.

Если число вспышек в целое число раз больше числа оборотов диска, например дается 3 000 вспышек, то за один оборот диска произойдет три вспышки и черта будет видна в трех положениях диска. В этом случае для лучшей видимости наносят три черты, отстоящие на равных расстояниях друг от друга (делят диск на три равные части).

Из указанного следует, что если число световых вспышек будет немного меньше числа оборотов диска, то видимая черта (или три черты) будет медленно (в зависимости от соотношения чисел вспышек и оборотов) передвигаться по направлению вращения диска, так как делающая видимой черту вспышка будет запаздывать, т. е. происходить

позже, чем диск совершит полный оборот, и, следовательно, черта уже будет не на прежнем месте, а чуть сдвинется. При обратном соотношении чисел вспышек и оборотов черта будет передвигаться (вращаться) в противоположную вращению сторону.

Таким образом, если вращающийся предмет прерывисто освещать с числом вспышек, равным числу оборотов или в кратное число раз меньше, то этот вращающийся предмет как бы останавливается и его можно увидеть и сфотографировать. Тот же эффекг произойдет, если вместо вращательного движения имеется периодическое колебательное движение какого-либо предмета. Итак, стробоскопический тахометр позволяет как определить число оборотов (колебаний), так и сделать видимым вращающийся (колеблющийся) предмет.

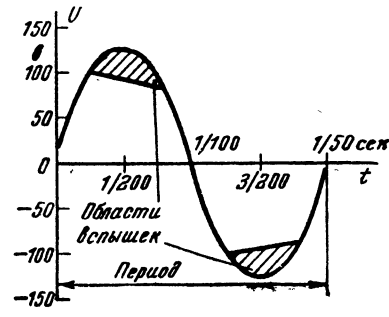


Рис. 32. График, показывающий области вспышек неоновой лампы.

Если присоединить неоновую лампу к источнику переменного напряжения (осветительной сети или звуковому генератору), то за один период напряжения сигнальная лампа будет зажигаться 2 раза, так как вспышка лампы будет происходить каждый раз, когда напряжение независимо от знака достигнет значения, равного напряжению зажигания лампы. Для частоты 50 *гц* и неоновой лампы с напряжением зажигания 100 *в* и потухания 85 *в* это явление показано на рис. 32.

Прерывистое освещение можно получить не только с газоразрядной лампой, например цилиндр с прорезями (отверстиями), вращаемый вокруг обычной лампы накаливания, также способен создать через отверстия световые вспышки; однако это много сложнее и гораздо более громоздко, чем использование газоразрядной лампы.

Измерение числа оборотов можно произвести, если присоединить сигнальную лампу к звуковому генератору и изменением частоты менять число вспышек лампы до тех пор, пока какая-нибудь имеющаяся или специально сделанная отметка на вращающейся части покажется неподвижной (рис. 33). При измерении получается несколько частот, соответствующих разному числу вспышек лампы при не-

подвижной отметке (число вспышек равно числу оборотов или в кратное число раз меньше их). Поэтому истинное число измеряемых оборотов будет равно половине самой высокой частоты, установленной в звуковом генераторе, при которой будет видна отметка.

Так как число вспышек, так же как и число измеренных оборотов в секунду, будет вдвое больше установленной в звуковом генераторе частоты, то диапазон измеряемых чисел оборотов (считая, что у большинства промышленных звуковых генераторов нижняя частота равна 18 *гц*) составляет от 2 200 до примерно 10 000 *об/мин*. Для уменьшения

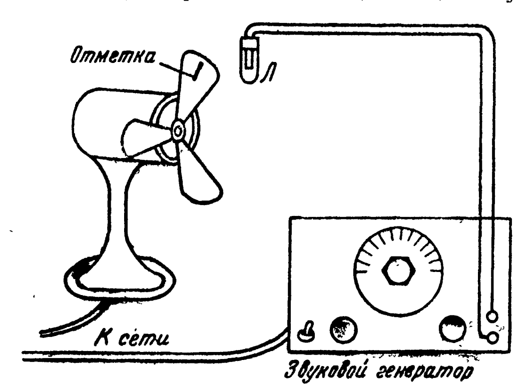


Рис. 33. Схема измерения числа оборотов.

вдвое нижней границы измеряемых оборотов (1 100 *об/мин*) при той же минимальной частоте звукового генератора (18 *гц*) необходимо снизить вдвое число вспышек сигнальной лампы. Это может быть обеспечено либо подачей постоянного смещающего напряжения в 20—30 *в* последовательно с переменным напряжением звукового генератора (рис. 34,*а*), либо однополупериодным выпрямлением напряжения генератора (рис. 34,*б*). Выходное напряжение звукового генератора должно быть достаточным для зажигания сигнальной лампы, составляя приблизительно 50 *в* (наличие смещающего постоянного напряжения снижает на 15—20 *в* требующееся от генератора напряжение).

Точность измерения числа оборотов зависит от точности частоты колебаний, звукового генератора, т. е. от его калибровки. Из-за малой яркости вспышек сигнальной лампы измерения оборотов рекомендуется проводить в затемненном помещении.

Существует еще один способ измерения (точнее, установ-

ки числа оборотов), не требующий звукового генератора. При этом неоновая лампа (с добавочным сопротивлением, если оно требуется) включается в осветительную сеть переменного тока частотой 50 *гц*. Лампа будет всегда давать 100 вспышек в секунду (6 000 в минуту). Чтобы установить в этом случае число оборотов, необходимо надеть на вращающуюся ось диск, разделенный на соответствующее дан-

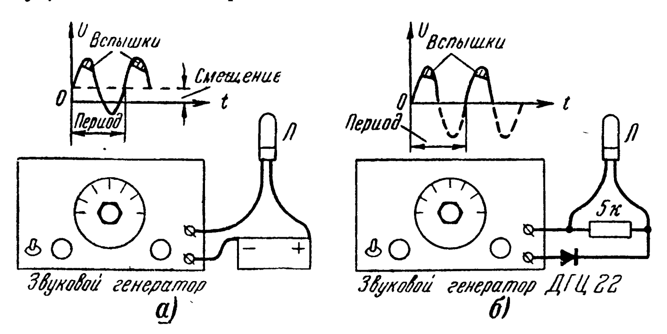


Рис. 34. Схемы понижения вдвое числа вспышек неоновой лампы за период переменного напряжения.

ной скорости вращения количество частей, и, поднеся неоновую лампу, изменять скорость до тех пор, пока деления диска не покажутся неподвижными. Так как деления диска будут казаться неподвижными и при скоростях, в целое число раз бо́льших заданной, то нужно устанавливать наименьшее число оборотов, обеспечивающее неподвижность диска.

Количество частей n, на которое следует разделить диск, подсчитывается по формуле

$$n = \frac{6\,000}{N},$$

где N — число оборотов в минуту.

При малых оборотах, а также для уменьшения вдвое количества требующихся частей (делений) диска рекомендуется пользоваться способом уменьшения вдвое числа вспышек (рис. 34).

Если диск будет сделан с несколькими рядами делений для установки нескольких чисел оборотов, то для удобства различения можно некоторые ряды (кольца) покрасить в красный, желтый и оранжевый цвета (входящие в спектр свечения неоновой лампы) или же обозначить некоторые числа оборотов делением окружности на части не черточками, а крестиками, нулями или другими знаками.

ШУМОВОЙ ГЕНЕРАТОР

Шумовой генератор является очень ценным измерительным прибором, совершенно необходимым для различных измерений электроакустической аппаратуры (громкоговорители, микрофоны), измерений в области архитектурной (строительной) акустики и физиологической акустики. Генератор производит электрическое напряжение широкого спектра звуковых частот (так называемый гладкий или белый шум), обнимающий обычно полосу частот от 70—100 *гц* до 10—18 *кгц*.

В первых шумовых генераторах использовался тепловой шум высокоомного сопротивления или дробовой эффект электронной лампы. Шумы этих источников усиливались усилителем низкой или высокой частоты; в последнем случае шумом предварительно модулировалось напряжение высокой частоты.

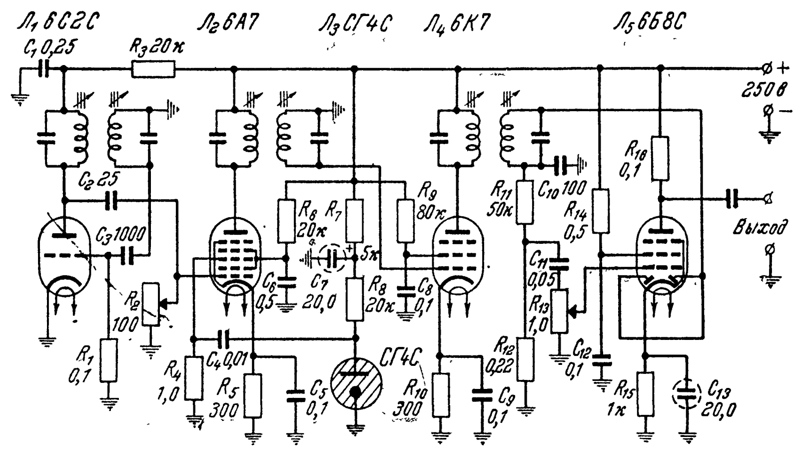


Рис. 35. Схема шумового генератора.

С внедрением газоразрядных ламп (стабилитронов и тиратронов) выяснилось, что эти лампы обладают значительно более высоким дробовым эффектом, чем электронные лампы, вследствие чего они нашли применение в шумовых генераторах в качестве шумопроизводящего элемента.

На рис. 35 приводится схема шумового генератора, использующего стабилитрон $Л_3$ как шумовой источник. Лампа $Л_1$ является гетеродином, генерирующим напряжение с частотой приблизительно 468 *кгц*. Небольшая часть этого

напряжения с делителя, образованного конденсатором C_2 и переменным сопротивлением R_2, подается на первую сетку смесительной лампы $Л_2$ и модулируется шумовым напряжением, поступающим на третью сетку этой же лампы от стабилитрона $Л_3$. Промодулированное напряжение высокой частоты усиливается лампой $Л_4$, затем детектируется лампой $Л_5$, в результате чего выделяется модулирующее шумовое напряжение низкой частоты, которое усиливается лампой $Л_5$. Выходное напряжение шумового генератора (около 0,15 *в* на сопротивлении нагрузки 0,25 *Мом*) можно регулировать переменным сопротивлением R_{13}.

Равномерность спектра и ширина полосы частот генератора определяются настройкой фильтров промежуточной частоты подобно тому, как это происходит в супергетеродинном приемнике. И если расширить полосу шума (диапазон шумовых частот) вниз (ниже 100—70 *гц*) обычно не удается из-за самой природы шума, то верхняя граница полосы полностью зависит от полосы пропускания фильтров промежуточной частоты и ее можно довести до 15—20 *кгц*.

РАЗЛИЧНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП

Стабилитрон в качестве анодного фильтра. Низкое внутреннее сопротивление стабилитрона делает его весьма ценным для использования в качестве анодного развязывающего фильтра в каскадах предварительного усиления (рис. 36). Стабилитрон *Ст* включается вместо конденсатора большой емкости, причем одновременно он стабилизует напряжение на аноде и экранирующей сетке лампы.

Тип стабилитрона и добавочное сопротивление $R_д$ выбираются, исходя из параметров питаемой лампы и величи-

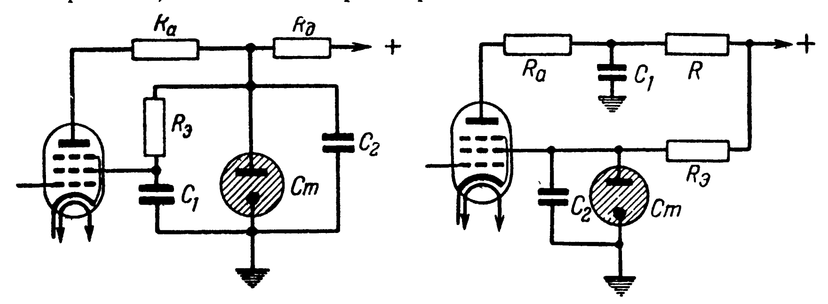


Рис. 36. Схема включения стабилитрона в анодный фильтр.

Рис. 37. Схема включения стабилитрона в цепь экранирующей сетки.

ны необходимого анодного напряжения. При питающем напряжении 250 *в*, стабилитроне СГ4С и токе анода и экранирующей сетки 10 *ма* добавочное сопротивление может быть около 4 *ком*.

Разновидностью рассмотренной схемы является схема фильтрации экранного напряжения (рис. 37). Конденсатор C_2 в этой схеме служит для улучшения фильтрации более высоких частот в связи с возрастанием внутреннего сопротивления стабилитрона с частотой. Обе схемы особенно эффективны в усилителях инфразвуковых частот (5—50 *гц*).

Стабилитрон как элемент связи. Схема (рис. 38) предназначена для использования в усилителях постоянного тока. Положительное напряжение на сетке лампы $Л_2$ второго каскада усиления, которое без стабилитрона (при соединении анода лампы $Л_1$ с сеткой лампы $Л_2$) равно анодному напряжению первого каскада, при наличии стабилитрона *Ст* уменьшается на величину его рабочего напряжения. Уменьшение положительного напряжения на сетке лампы $Л_2$ облегчает задачу его компенсации (сетка лампы $Л_2$ должна иметь отрицательное смещение).

Компенсация положительного напряжения осуществляется при помощи сопротивлений R_{a2} и $R_к$; на сопротивлении $R_к$ падает компенсирующее (отрицательное) напряжение, создаваемое анодным током лампы $Л_2$ и дополнительным током, проходящим через сопротивление R_{a2}.

Так как внутреннее сопротивление стабилитрона во много раз меньше сеточного сопротивления R_c, наличие в схеме стабилитрона не приведет к уменьшению коэффициента усиления. Следует, однако, иметь в виду, что в усилителях

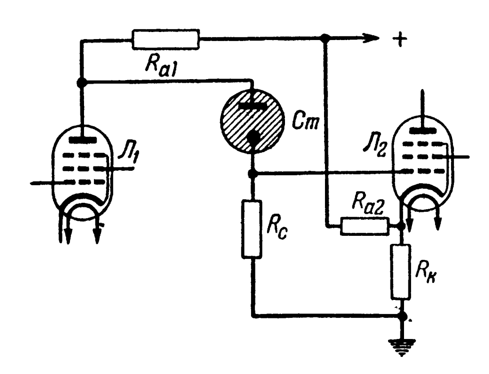


Рис. 38. Схема включения стабилитрона как элемента междуламповой связи.

с большим коэффициентом усиления (больше миллиона) использование стабилитронов может повышать собственные шумы усилителя.

Защита выходного трансформатора усилителя от перенапряжения (пробоя). Свойство газоразрядной лампы резко уменьшать свое сопротивление после зажигания (от нескольких мегом до нескольких килоом вместе с добавочным сопротивлением) позволяет осуществить простую защиту от пробоя изоляции первичной обмотки выходного трансформатора пиковым напряжением сигнала в усилителях при отсутствии нагрузки. Шунтирование этой обмотки газоразрядной лампой *Л* с добавочным сопротивлением для ее защиты устраняет опасные для обмотки перенапряжения, так как зажигание лампы, создавая дополнительную нагрузку выходных ламп усилителя, понижает переменное напряжение между их анодами (рис. 39).

Величина номинального рабочего напряжения на первичной обмотке трансформатора определяет выбор газоразрядной лампы. Если напряжение зажигания лампы меньше номинального напряжения на обмотке, то следует соединить последовательно необходимое число газоразрядных ламп. Защитное сопротивление $R_з$ берется порядка 1—2 *ком.* В промышленных усилителях (например У-50) для защиты обмотки используются специальные газовые разрядники (типа РА).

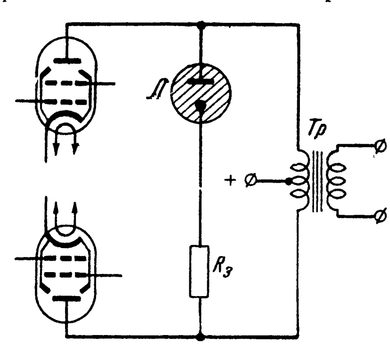


Рис. 39. Схема защиты первичной обмотки выходного трансформатора от пробоя.

Сигнализация о перегрузке. Иногда может оказаться необходимым сигнализировать о перегрузке какого-либо усилительного каскада или о появлении в какой-либо цепи напряжения. Такую сигнализацию можно осуществить при помощи неоновой лампы, причем, если напряжение перегрузки или ожидаемое напряжение меньше напряжения зажигания лампы, то это напряжение можно использовать как добавочное к постоянному (смещающему) напряжению.

В качестве примера на рис. 40 показана схема сигнализации о перегрузке усилительного каскада, максимальное

выходное напряжение в котором ниже зажигающего лампу *НЛ* напряжения (рис. 40,*а*), и схема сигнализации о появлении напряжения на контуре кварцевого генератора (рис. 40,*б*) при настройке его на частоту кварца *Кв* (также с добавлением постоянного смещающего напряжения).

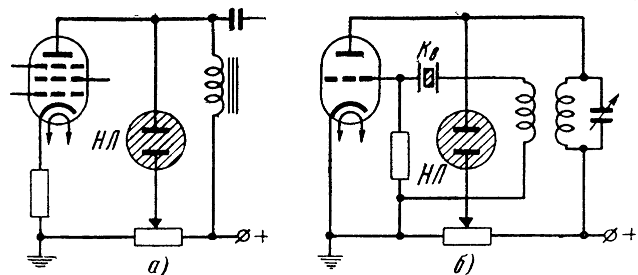


Рис. 40. Схемы сигнализации.
а — сигнализация о перегрузке усилительного каскада; *б* — сигнализация о возбуждении колебаний кварцевого генератора.

Отметчик времени. В некоторых случаях при фотографировании непрерывных процессов с экрана электронно-лучевого осциллографа требуется одновременно отмечать и время, в течение которого происходит фиксируемый процесс.

Такую отметку времени легко осуществить, поместив рядом с экраном осциллографической трубки газоразрядную лампу, закрытую кожухом, имеющим круглое отверстие диаметром 1—2 *мм*. Отметки времени при фотографировании на движущуюся кинопленку будут получаться в виде точек. Интервал между соседними точками будет равен $^1/_2$ периода переменного напряжения, которым питается газоразрядная лампа (например, 0,01 *сек* при питании ее от электросети с частотой 50 *гц*).

Питая лампу от звукового генератора или от электросети, но через детектор, как это указано в описании стробоскопического индикатора, можно получить двойные интервалы времени между точками.

Чтобы обеспечить фиксацию вспышек газоразрядной лампы на пленке, следует для отметчика применять более ярко светящуюся лампу, лучше с сиреневым (синеватым) цветом свечения. Кроме того, повышение яркости может быть достигнуто увеличением отверстия в кожухе для лампы и употреблением линзы, устанавливаемой между отверстием в кожухе и съемочным аппаратом.

Для отметки времени может с успехом применяться точечная неоновая лампа.

Преобразование (растягивание) шкалы вольтметра[1]. Используя нелинейные свойства газоразрядной лампы, можно ограничить чувствительность вольтметра и за этот счет «растянуть» его шкалу в рабочем диапазоне напряжений, повысив при этом точность отсчета.

На рис. 41 приведена схема вольтметра для переменного напряжения 140 *в*, использующего указанный принцип; там же показан образец его шкалы.

Измеряемое переменное напряжение уменьшается делителем из сопротивлений R_1 и R_2, выпрямляется германие-

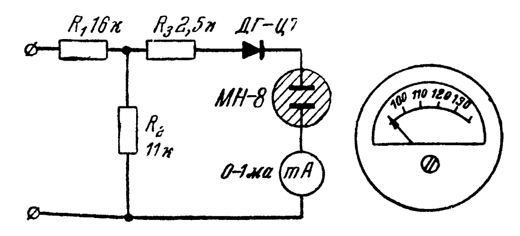


Рис. 41. Схема вольтметра с «растянутой» шкалой.

вым диодом (ДГ-Ц7) и подается на последовательно соединенные неоновую лампу (МН-8) и миллиамперметр постоянного тока *mA* чувствительностью в 1 *ма*. До напряжения в 100 *в* ток в цепи миллиамперметра практически будет отсутствовать, так как незажегшаяся неоновая лампа создает разрыв цепи. После ее зажигания (при подаче напряжения выше 100 *в*) в цепи появится ток, линейно возрастающий с повышением напряжения.

Делителем $R_1 R_2$ устанавливается величина напряжения, с которого начинаются показания вольтметра; увеличив сопротивление R_1 до 35 *ком*, можно сделать его шкалу для напряжений от 200 до 240 *в*.

Следует иметь в виду, что значительная разница между напряжениями зажигания и горения неоновой лампы делает несколько отличными показания прибора при возрастании и снижении напряжения. Поэтому наиболее пригодной для описанного устройства неоновой лампой будет МН-8, которая имеет наименьший «гистерезис» среди других ламп.

Описанный способ преобразования шкалы вольтметра можно применить и для измерения постоянного тока, исключив для этого из схемы выпрямительный диод.

---

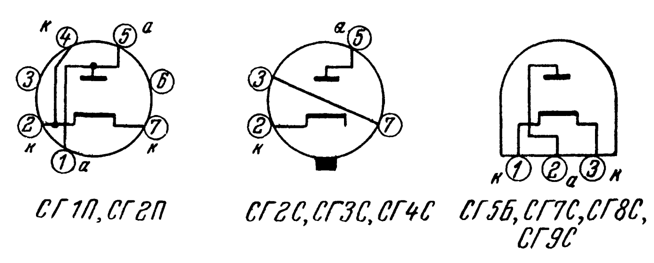
[1] Предложено В. Большовым („Радио“, 1956, № 12).

Приложение

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ СТАБИЛИТРОНОВ И НЕОНОВЫХ ЛАМП

Стабилизаторы

Обозначение	Рабочее напряжение, *в*	Наибольшее напряжение зажигания, *в*	Рабочий ток, *ма*	Наибольшее изменение напряжения стабилизации, *в*	Внутреннее сопротивление, *ом*	Габаритные размеры, *мм*	
						диаметр	высота
СГ1П	145—160	180	5—30	4	160	22,5	72
СГ2П	104—112	133	5—30	2,5	100	22,5	72
СГ2С	70—81	105	5—40	6	180	34	98
СГ3С	105—112	127	5—40	3,5	80	34	98
СГ4С	145—160	180	5—30	4	160	34	98
СГ5Б	142—157	180	5—10	4	800	10,2	36
СГ7С	380—400	430	0,003—0,1	20	21 000	12	52
СГ8С	880—920	970	0,003—0,1	40	41 000	12	52
СГ9С	1 220—1 280	1 320	0,01—0,1	30	75 000	12	52



Схемы соединений электродов стабилитронов с внешними выводами.

Неоновые лампы

Обозначение	Напряжение зажигания при постоянном токе, *в*	Ток, *ма*	Габаритные размеры, *мм*	
			диаметр	высота
СН-1	150	20	56	90
СН-2	82	30	56	90
МН-3	65	1	15	37
МН-4	80	2	15	37
МН-5	150	0,2	10	35
МН-6	90	0,8	7	28
МН-7	90	2	15	40
МН-8	75	1	10	30
МН-11	85	5	15	42
ПН-1	200	1	16	45
ПН-3	90	0,5	16	45
ВМН-1	160	2	9	51
УВН-1	550	—	10	70
ФН-2	140	1	9,2	26

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 1 р. 45 к